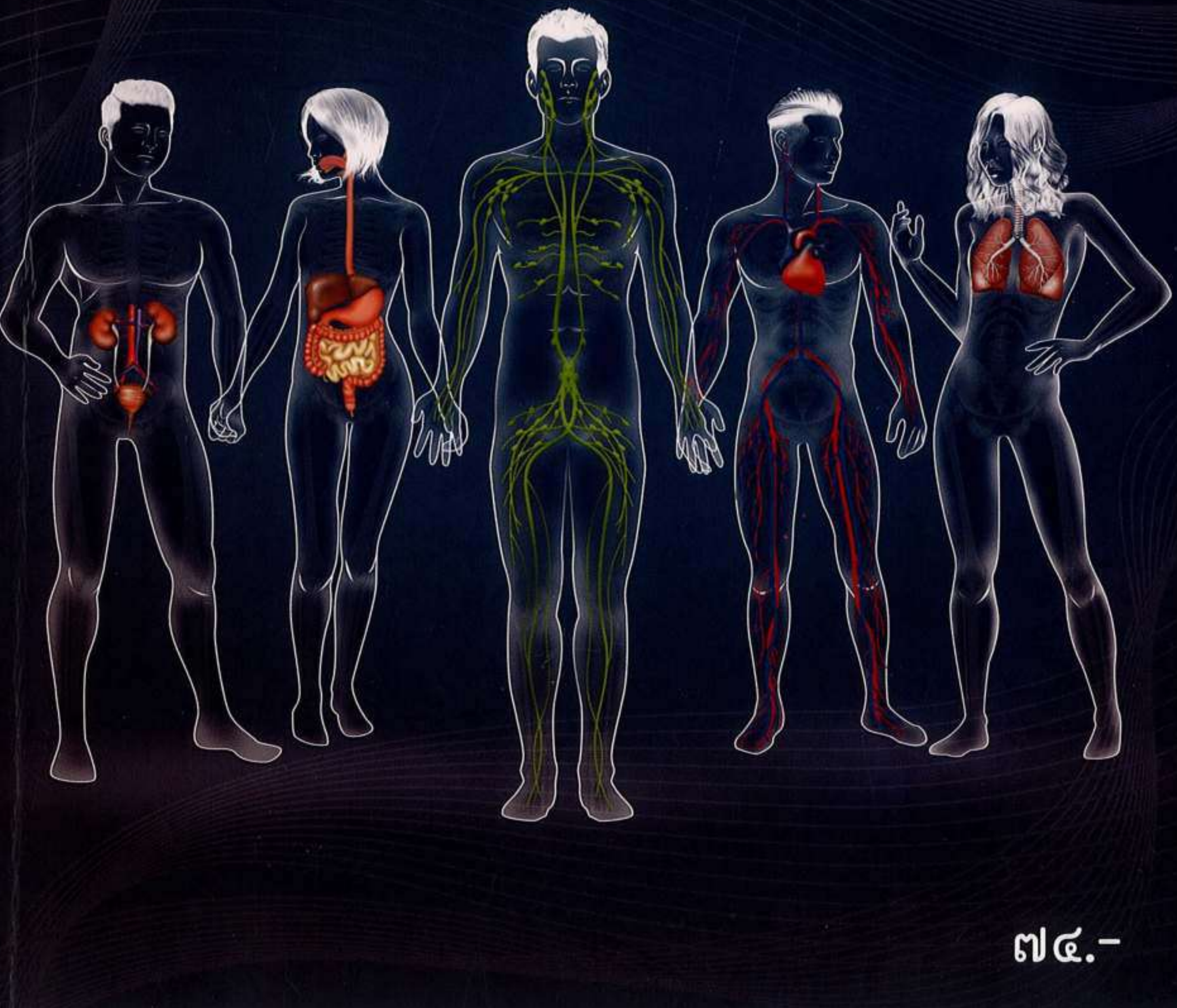
หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕

ชีววิทยา
เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



๗๔.-

หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๑
ISBN 978-616-362-804-6
จำนวน ๑๕๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๒

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย
ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐
www.chulabook.com
ฝ่ายขายติดต่อ แผนกขายส่ง โทร. ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๕-๖ โทรสาร ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๔

พิมพ์ที่
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทร. ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๑ โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๐
www.cuprint.chula.ac.th

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๒

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตร เพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๔ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องระบบย่อยอาหาร ระบบหายใจ ระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลือง ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบขับถ่าย ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๔ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

1 คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2 จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3 ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

4 ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

5 ตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

6 ลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

7 กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

8 ตัวอย่าง

การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนสามารถศึกษาเพื่อให้มีความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

9 กิจกรรมเสนอแนะ

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้

10 ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

11 รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

12 การเชื่อมโยงความรู้

เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

13 กรณีศึกษา

ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง

14 สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

15 แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ บทที่ 13 - 17

สารบัญ บทที่ 13 - 17

บทที่	เนื้อหา	หน้า

สารบัญ บทที่ 13 - 17

บทที่ 13 | ระบบย่อยอาหาร

ipst.me/8866



มนุษย์รับประทานอาหารวันละหลายมื้อ ซึ่งควรประกอบด้วยอาหารที่หลากหลายเพื่อให้ได้สารอาหารที่แตกต่างกัน และครบถ้วนเหมาะสมกับความจำเป็นของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายที่ต้องการนำไปใช้ให้เพียงพอกับการดำรงชีวิตในแต่ละวัน โดยอาหารเหล่านี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด สารอาหารเหล่านี้ต้องมีการเปลี่ยนเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น มอโนแซ็กคาไรด์ กรดแอมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล ซึ่งเซลล์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ **อาหารมีการเปลี่ยนแปลงได้อย่างไรตั้งแต่รับประทานเข้าไปจนมีการดูดซึมสารอาหารและขับออกมาเป็นกากอาหาร การเปลี่ยนแปลงนี้เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบใดในร่างกาย**



คำถามสำคัญ

1. **สัตว์แต่ละชนิดมีโครงสร้างที่ใช้ในการย่อยอาหารและกระบวนการย่อยอาหารเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร**
2. **มนุษย์มีกระบวนการย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ และสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์
2. อธิบายการย่อยอาหารภายนอกเซลล์และภายในเซลล์
3. สังเกตและอธิบายการกินอาหารของไฮดราและพลานาเรีย
4. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในกระบวนการย่อยเชิงกลและทางเคมีของมนุษย์
5. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในการดูดซึมสารอาหารและการถ่ายอุจจาระของมนุษย์

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

◯ 1. สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีโครงสร้างในการย่อยอาหารเหมือนกัน

◯ 2. คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิดเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เซลล์สามารถนำไปใช้ได้ทันที

◯ 3. ทางเดินอาหารของมนุษย์ประกอบด้วยอวัยวะต่าง ๆ ได้แก่ ปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ทวารหนัก และมีอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร คือ ต่อมน้ำลาย ตับ และตับอ่อน

◯ 4. ฟันช่วยบดเคี้ยวอาหารให้มีขนาดเล็กลงจัดเป็นการย่อยเชิงกลและมีลิ้นช่วยคลุกเคล้าอาหาร

◯ 5. ภายในกระเพาะอาหารมีการย่อยโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ในภาวะที่เป็นกรด

◯ 6. การย่อยอาหารในลำไส้เล็กอาศัยเอนไซม์ที่สร้างจากตับอ่อนเท่านั้น

◯ 7. การดูดซึมสารอาหารส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ลำไส้เล็ก

◯ 8. น้ำดีสร้างจากถุงน้ำดีแล้วส่งไปที่ลำไส้เล็กช่วยให้ลิพิดแตกตัว

◯ 9. ไตรกลีเซอไรด์เมื่อถูกย่อยแล้วจะได้กรดไขมันและกลีเซอรอล

◯ 10. เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารจัดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

อาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต สัตว์ก็เช่นเดียวกันต้องการอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน โดยทั่วไปการย่อยอาหารของสัตว์มีหลายขั้นตอน เนื่องจากอาหารแต่ละชนิดมีทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด ซึ่งเป็นสารอาหารที่แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องใช้เอนไซม์มาย่อยแตกต่างกัน ในการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตมีทั้งการย่อยอาหารภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ **กระบวนการย่อยทั้งสองแบบนี้มีความแตกต่างกันอย่างไร**

สิ่งมีชีวิตบางชนิดปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารภายนอกเซลล์ แล้วดูดซึมสารอาหารที่ย่อยเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์ เช่น ราที่เจริญเติบโตบนอาหารที่วางทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน หรือเห็ดที่เจริญเติบโตบนขอนไม้จนทำให้ขอนไม้เกิดการผุพัง ดังรูป 13.1 ซึ่งเห็ดราแต่ละชนิดต่างก็มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยสารตั้งต้นได้ต่างกัน เช่น ราบนขนมปังมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งและน้ำตาลได้ ส่วนเห็ดมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยเซลลูโลสได้



ราบนขนมปัง



ราบนส้ม



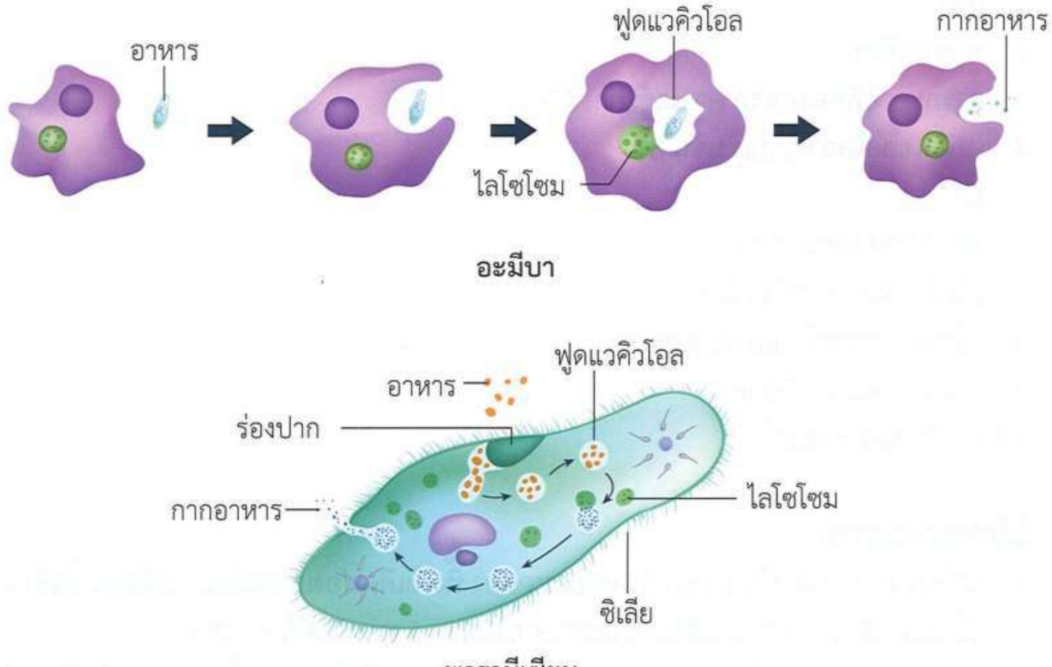


เห็ดต่าง ๆ บนขอนไม้

รูป 13.1 ราเจริญบนอาหารและผลไม้ เห็ดเจริญบนขอนไม้

สิ่งมีชีวิตที่มีการย่อยอาหารภายนอกเซลล์มีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมอย่างไร

สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนมีการย่อยอาหารภายในเซลล์โดยการสร้างเวสิเคิล เช่น อะมีบาและพารามีเซียมย่อยอาหารภายในฟูดแวคิวโอลซึ่งอาศัยเอนไซม์จากไลโซโซม โดยอะมีบานำอาหารเข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีฟาโกไซโทซิส และพิโนไซโทซิส ส่วนพารามีเซียมใช้ซิเลียโบกพัดอาหารเข้าสู่เซลล์ที่บริเวณร่องปากเกิดเป็นฟูดแวคิวโอล เมื่อฟูดแวคิวโอลรวมกับไลโซโซม เอนไซม์ในไลโซโซมจะย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กลง และมีการลำเลียงสารอาหารที่ย่อยได้ไปทั่วเซลล์ ส่วนกากอาหารในฟูดแวคิวโอลถูกกำจัดออกนอกเซลล์โดยฟูดแวคิวโอลจะเคลื่อนไปใกล้เยื่อหุ้มเซลล์และปล่อยออกด้วยวิธีเอกโซไซโทซิส ดังรูป 13.2



รูป 13.2 การย่อยอาหารของอะมีบาและพารามีเซียม

ตรวจสอบความเข้าใจ

? การย่อยอาหารภายนอกเซลล์และการย่อยอาหารภายในเซลล์แตกต่างกันอย่างไร

กิจกรรมเสนอแนะ : การกินอาหารของพารามีเซียม

ipst.me/9198

จุดประสงค์

1. สังเกตการกินอาหารของพารามีเซียม
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของอาหารเมื่อเข้าสู่ภายในเซลล์ของพารามีเซียม

วัสดุและอุปกรณ์

1. ยีสต์
2. พารามีเซียม
3. สารละลายสีคองโกเรด ความเข้มข้น 1%
4. เมทิลเซลลูโลส ความเข้มข้น 5%
5. น้ำ
6. หลอดทดลองขนาดกลาง
7. สไลด์ และกระจกปิดสไลด์
8. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
9. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL
10. ตะเกียงแอลกอฮอล์

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำยีสต์ 0.5 g ผสมน้ำ 10 mL ในหลอดทดลอง ทิ้งให้เกิดฟองแก๊สแล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายคองโกเรด 5 หยด ทิ้งไว้ 15 นาที
2. หยดเมทิลเซลลูโลส จำนวน 1 หยด ลงในสไลด์ที่มีพารามีเซียม จากนั้นหยดสารที่เตรียมไว้ ในข้อ 1 จำนวน 1 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
3. สังเกตการเปลี่ยนสีของฟูดแวคิวโอลในพารามีเซียมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง และ สืบค้นข้อมูลเรื่องการกินอาหารของพารามีเซียม

คำถามท้ายกิจกรรม

? พารามีเซียมมีวิธีการกินยีสต์อย่างไร

? ยีสต์เมื่อเข้าสู่ภายในเซลล์ของพารามีเซียมแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไร

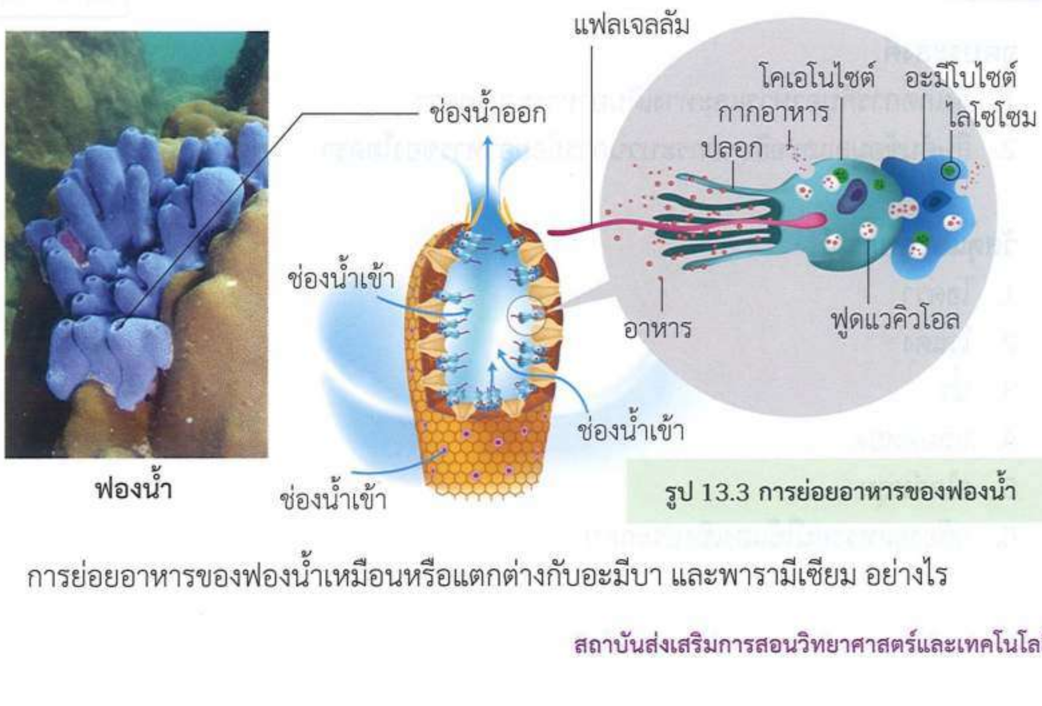
สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีการย่อยอาหารที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของร่างกาย นอกจากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่ศึกษาข้างต้นแล้ว **สัตว์ที่มีโครงสร้างของร่างกายซับซ้อนมากขึ้นจะมีการย่อยอาหารอย่างไร**

13.1 การย่อยอาหารของสัตว์

โครงสร้างในการย่อยอาหารของสัตว์ทำให้แบ่งสัตว์ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ สัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ และสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์

สัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร

ฟองน้ำเป็นสัตว์ที่มีลำตัวเป็นรูพรุน ไม่มีทางเดินอาหาร โดยมีเซลล์ชนิดหนึ่ง เรียกว่า **โคเอโนไซต์** (choanocyte) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีแฟลเจลลัมและมีปลอก โคเอโนไซต์ใช้แฟลเจลลัมโบกพัดอาหารที่มากับน้ำทางช่องน้ำเข้าแล้วเข้าไปในปลอก จากนั้นอาหารเข้าสู่เซลล์โดยวิธีฟาโกไซโทซิสเกิดเป็นฟูดแวคิวโอล เมื่อฟูดแวคิวโอลรวมกับไลโซโซมเอนไซม์ในไลโซโซมจะย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้จะมีเซลล์อีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า **อะมีโบไซต์** (amoebocyte) มีลักษณะคล้ายอะมีบา สามารถนำสารอินทรีย์ขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์และเกิดการย่อยภายในเซลล์นี้ เมื่ออาหารถูกย่อยจนสมบูรณ์แล้วจะส่งไปยังเซลล์ต่าง ๆ ต่อไป ดังรูป 13.3 ส่วนกากอาหารจะถูกลำเลียงออกจากเซลล์ด้วยวิธีเอกโซไซโทซิส ออกนอกร่างกายทางช่องน้ำออก

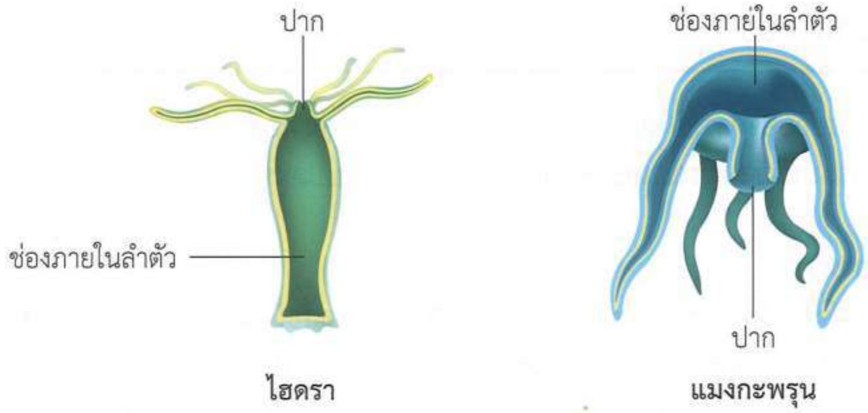


รูป 13.3 การย่อยอาหารของฟองน้ำ

? การย่อยอาหารของฟองน้ำเหมือนหรือแตกต่างกับอะมีบา และพารามีเซียม อย่างไร

สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์

สัตว์หลายชนิดมีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ เช่น ไฮดราและแมงกะพรุน มีทางเดินอาหารที่มีช่องเปิดเพียงช่องเดียว เรียกว่า ปาก ซึ่งเป็นทั้งทางเข้าของอาหารและทางออกของกากอาหาร ดังรูป 13.4



รูป 13.4 ทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์

พฤติกรรมการกินอาหารของไฮดราสามารถศึกษาได้จากกิจกรรม 13.1

กิจกรรม 13.1 การกินอาหารของไฮดรา

ipst.me/9199

จุดประสงค์

1. สังเกตการกินอาหารและทางเดินอาหารของไฮดรา
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกระบวนการย่อยอาหารของไฮดรา

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไฮดรา
2. ไรแดง
3. น้ำ
4. หลอดหยด
5. สไลด์หลุม
6. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

วิธีการทำกิจกรรม

1. ใช้หลอดหยดดูดไฮดรามาวางบนสไลด์หลุม จากนั้นใช้หลอดหยดดูดไรแดงใส่ลงไปประมาณ 2-3 ตัว สังเกตการกินอาหารของไฮดรา โดยนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบกำลังขยายต่ำ แล้วบันทึกผลที่สังเกตได้
2. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการย่อยอาหารของไฮดรา

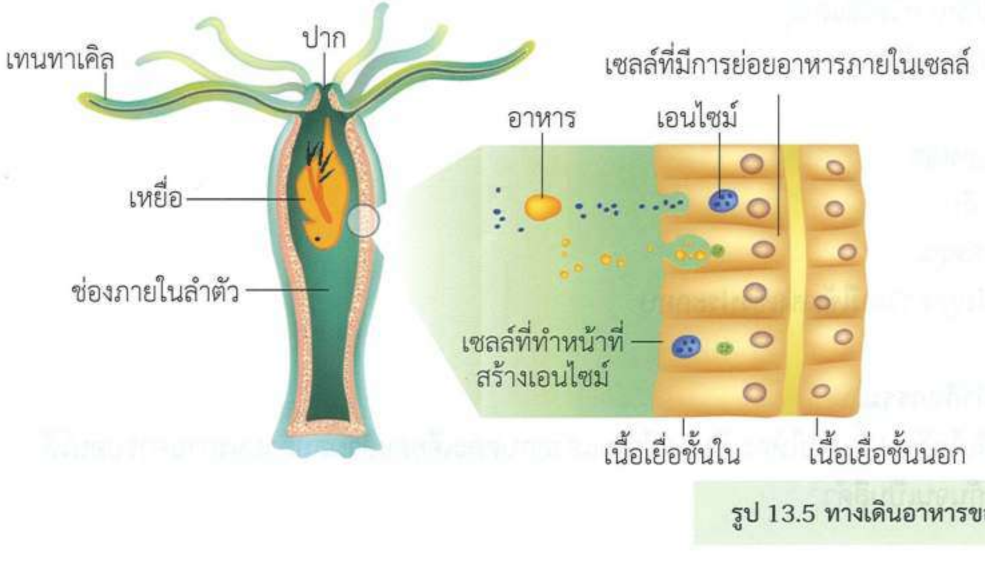
คำถามท้ายกิจกรรม

? ไฮดรามีการย่อยอาหารภายนอกเซลล์หรือภายในเซลล์

? เขียนแผนผังแสดงการกินและกระบวนการย่อยอาหารของไฮดรา

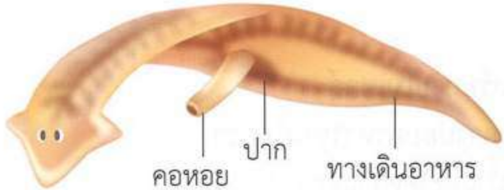
? วิธีการนำอาหารเข้าสู่ร่างกายของฟองน้ำและไฮดราแตกต่างกันอย่างไร

ไฮดราเป็นสัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น คือ เนื้อเยื่อชั้นนอกและเนื้อเยื่อชั้นใน ดังรูป 13.5 ไฮดรากินสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเป็นอาหาร โดยเมื่อเหยื่อเข้ามาสัมผัสกับ**เทนทาเคิล** (tentacle) ไฮดราจะปล่อย**เข็มพิษ** (nematocyst) แทงเหยื่อทำให้เหยื่อเป็นอัมพาต จากนั้นจะใช้เทนทาเคิลจับเหยื่อเข้าปาก เมื่อเหยื่อเข้าสู่ช่องภายในลำตัว เซลล์ที่อยู่บริเวณเนื้อเยื่อชั้นในซึ่งทำหน้าที่สร้างเอนไซม์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นอาหารบางส่วนจะถูกนำเข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีฟาโกไซโทซิสเกิดเป็นฟูดแวคิวโอล และย่อยโดยเอนไซม์ในไลโซโซมเช่นเดียวกับฟองน้ำ สารอาหารที่ได้จะแพร่เข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ส่วนกากอาหารจะขับออกทางปาก



รูป 13.5 ทางเดินอาหารของไฮดรา

พลานาเรียเป็นหนอนตัวแบนชนิดหนึ่งที่อยู่เป็นอิสระ โดยมีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกับไฮดรา ทางเดินอาหารของพลานาเรียทอดยาวไปตามลำตัว และแตกแขนงไปทั่วร่างกาย มีส่วน**คอหอย** (pharynx) ซึ่งมีลักษณะเหมือนท่อยื่นออกมาต่อจากปาก ดังรูป 13.6 พลานาเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารให้เป็นชิ้นเล็กลงภายนอกตัว อาหารบางส่วนที่ย่อยแล้วจะถูกดูดผ่านคอหอยเข้าสู่ทางเดินอาหาร เซลล์ที่ทางเดินอาหารปล่อยเอนไซม์มาย่อยอาหารในช่องภายในลำตัว และย่อยต่อภายในเซลล์จนสมบูรณ์ ส่วนกากอาหารจะถูกขับออกทางปาก



รูป 13.6 ทางเดินอาหารของพลานาเรีย

กิจกรรม 13.2 ทางเดินอาหารของพลานาเรีย

ipst.me/9197

จุดประสงค์

1. สังเกตการกินอาหารและทางเดินอาหารของพลานาเรีย
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกระบวนการย่อยอาหารของพลานาเรีย

วัสดุและอุปกรณ์

1. พลานาเรีย
2. ตับไก่ดิบ หรือไข่แดงสุก
3. ผงถ่านคาร์บอน (charcoal)
4. น้ำ
5. หลอดหยด
6. ปากคีบ
7. สไลด์หลุม
8. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำตับไก่ดิบ 1 ชิ้นสับให้ละเอียด หรือไข่แดงสุกบดละเอียดแล้วผสมด้วยผงถ่านคาร์บอนให้เข้ากันจนเป็นสีดำ

2. นำพลานาเรีย 1 ตัว ใส่ลงในสไลด์หลุมที่มีน้ำ แล้วใช้ปากคีบคีบตับไก่หรือไข่แดงสุกใส่ลงไป
3. สังเกตการกินและทางเดินอาหารของพลานาเรีย โดยนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบกำลังขยายต่ำ แล้วบันทึกผลที่สังเกตได้
4. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการย่อยอาหารของพลานาเรีย

คำถามท้ายกิจกรรม

? วิธีการกินอาหารของพลานาเรียแตกต่างจากไฮดราอย่างไร

? ทางเดินอาหารของพลานาเรียที่สังเกตได้มีลักษณะแตกต่างจากไฮดราอย่างไร

เมื่อพลานาเรียกินอาหาร อาหารจะเคลื่อนที่ไปตามทางเดินอาหารที่มีลักษณะแตกแขนงไปทั่วร่างกาย ดังรูป 13.7



ก. ก่อนกินอาหาร



ข. หลังกินอาหารผสมผงถ่านคาร์บอน

รูป 13.7 ลักษณะทางเดินอาหารของพลานาเรีย

ชวนคิด

เพราะเหตุใดสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์จึงต้องมีการย่อยอาหารทั้งภายนอกเซลล์และภายในเซลล์

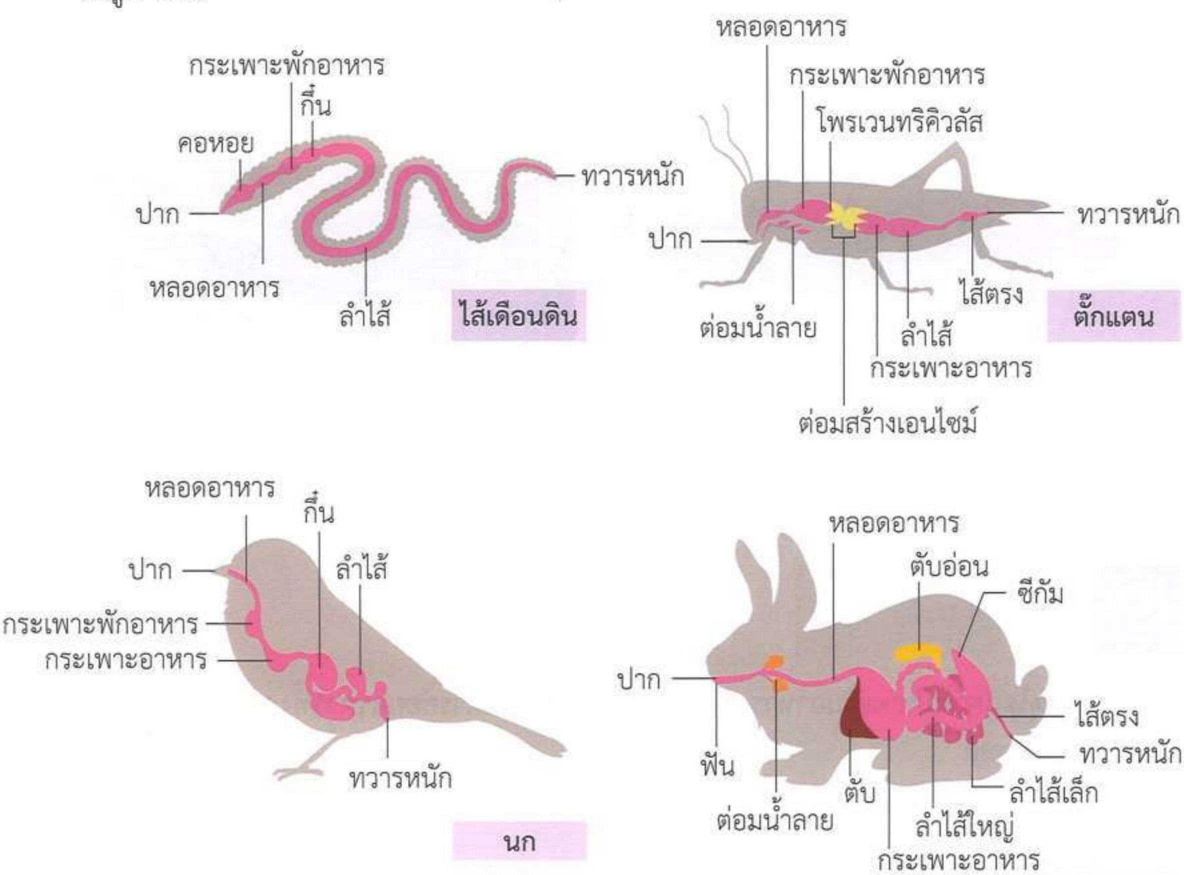
สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์

สัตว์ส่วนใหญ่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ คือ ทางเดินอาหารมีช่องเปิด 2 ช่อง โดยปลายด้านหนึ่งของท่อทางเดินอาหารเป็นทางเข้าของอาหาร เรียกว่า ปาก และปลายอีกด้านหนึ่งเป็นทางออกของกากอาหาร เรียกว่า ทวารหนัก ดังรูป 13.8



รูป 13.8 ทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์

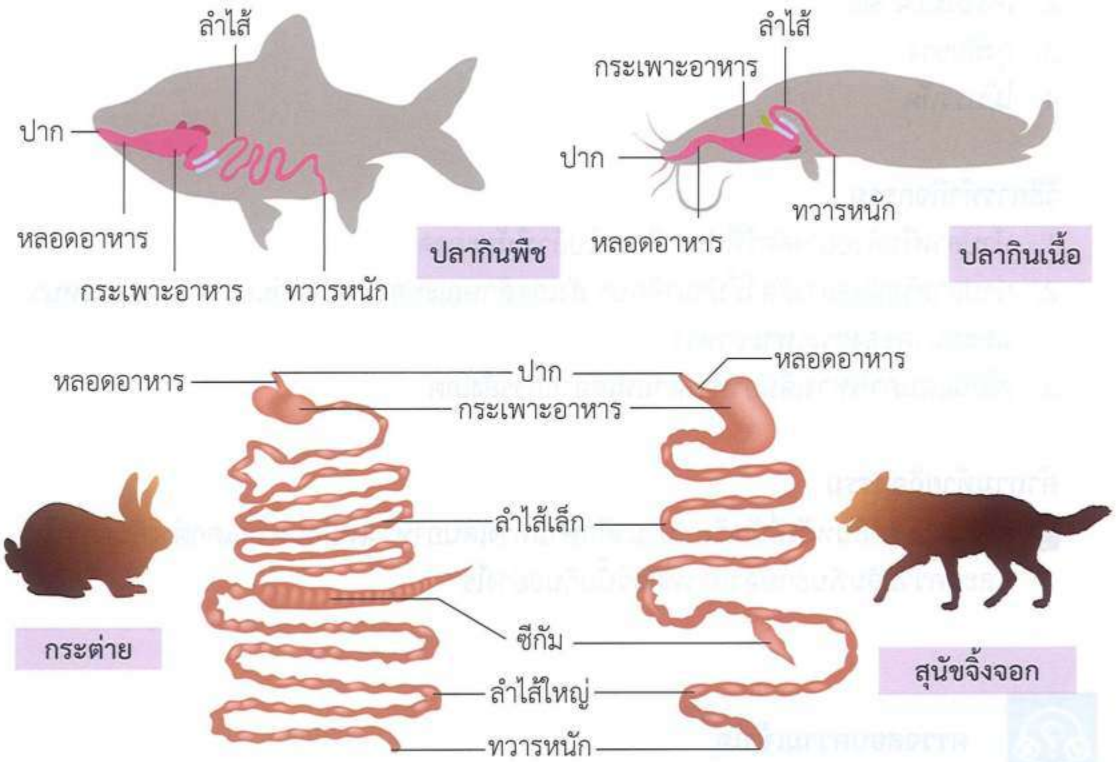
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่ เช่น ไส้เดือนดิน แมลง และสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดจะมีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ โดยทางเดินอาหารจะมีลักษณะเป็นท่อและแบ่งเป็นส่วน ๆ ซึ่งทำหน้าที่จำเพาะในระบบย่อยอาหาร นอกจากนี้ยังอาจมีอวัยวะช่วยย่อยอาหารเพิ่มขึ้น เช่น ฟัน กระเพาะพักอาหาร กึ๋น ต่อมสร้างเอนไซม์ ตับ ตับอ่อน และ**โพรเวนทริคิวลัส** (proventriculus) ดังรูป 13.9



รูป 13.9 ทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ของสัตว์บางชนิด

? จากรูป 13.9 สัตว์แต่ละชนิดมีทางเดินอาหารเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ในสัตว์กลุ่มเดียวกันที่กินอาหารต่างกันอาจมีลักษณะของทางเดินอาหารแตกต่างกัน ดังรูป 13.10



รูป 13.10 ทางเดินอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

? ทางเดินอาหารของปลากินพืชกับปลากินเนื้อมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร

? ทางเดินอาหารของกระต่ายและสุนัขจิ้งจอกมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร

? สัตว์กินพืชกับสัตว์กินเนื้อมีความยาวของทางเดินอาหารแตกต่างกันอย่างไร

กิจกรรมเสนอแนะ : ทางเดินอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

จุดประสงค์

ศึกษาทางเดินอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

วัสดุและอุปกรณ์

1. สัตว์มีกระดูกสันหลังซึ่งตายแล้วที่หาซื้อได้จากตลาด เช่น กบ ไก่ เป็ด ปลาช่อน ปลาตะเพียน

2. เครื่องมือผ่าตัด
3. ถุงมือยาง
4. ไม้บรรทัด

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำปลาหรือตัวอย่างสัตว์ที่นำมาศึกษาไปล้างให้สะอาด
2. ผ่าปลาหรือตัวอย่างสัตว์ที่นำมาศึกษา สังเกตลักษณะของปาก ความยาวลำไส้ ความหนาและขนาดของกระเพาะอาหาร
3. เขียนแผนภาพทางเดินอาหารตามที่ได้จากการสังเกต

คำถามท้ายกิจกรรม

? สัตว์มีกระดูกสันหลังที่นักเรียนนำมาศึกษามีทางเดินอาหารเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร และมีความสัมพันธ์กับอาหารที่สัตว์นั้นกินอย่างไร

ตรวจสอบความเข้าใจ

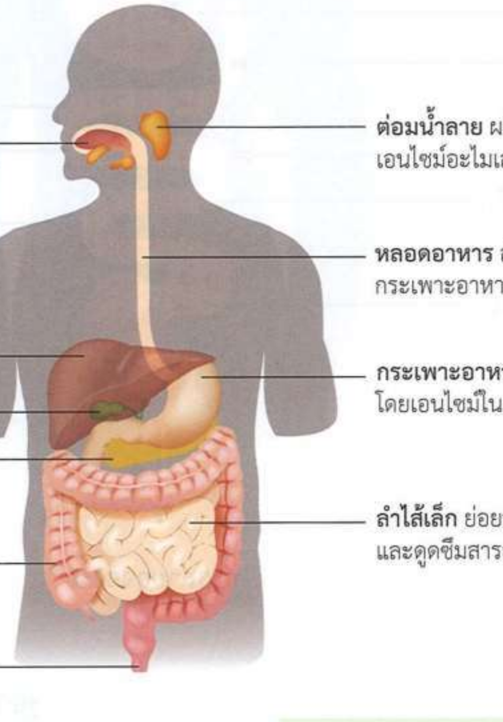
? ลักษณะของทางเดินอาหารของสัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร สัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ และสัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

สิ่งมีชีวิตมีการย่อยอาหารที่หลากหลาย สัตว์บางชนิดไม่มีทางเดินอาหารแต่มีเซลล์พิเศษทำหน้าที่นำอาหารเข้าสู่เซลล์แล้วย่อยภายในเซลล์ เช่น ฟองน้ำ บางชนิดมีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ เช่น ไฮดราและพลานาเรีย บางชนิดมีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ เช่น ไส้เดือนดิน แมลง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่ สัตว์มีกระดูกสันหลังและมนุษย์ **มนุษย์มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ กินทั้งพืชและสัตว์ ทางเดินอาหารของมนุษย์มีลักษณะแตกต่างจากทางเดินอาหารของสัตว์กินพืชหรือสัตว์กินเนื้อหรือไม่ อย่างไร**

13.2 การย่อยอาหารของมนุษย์

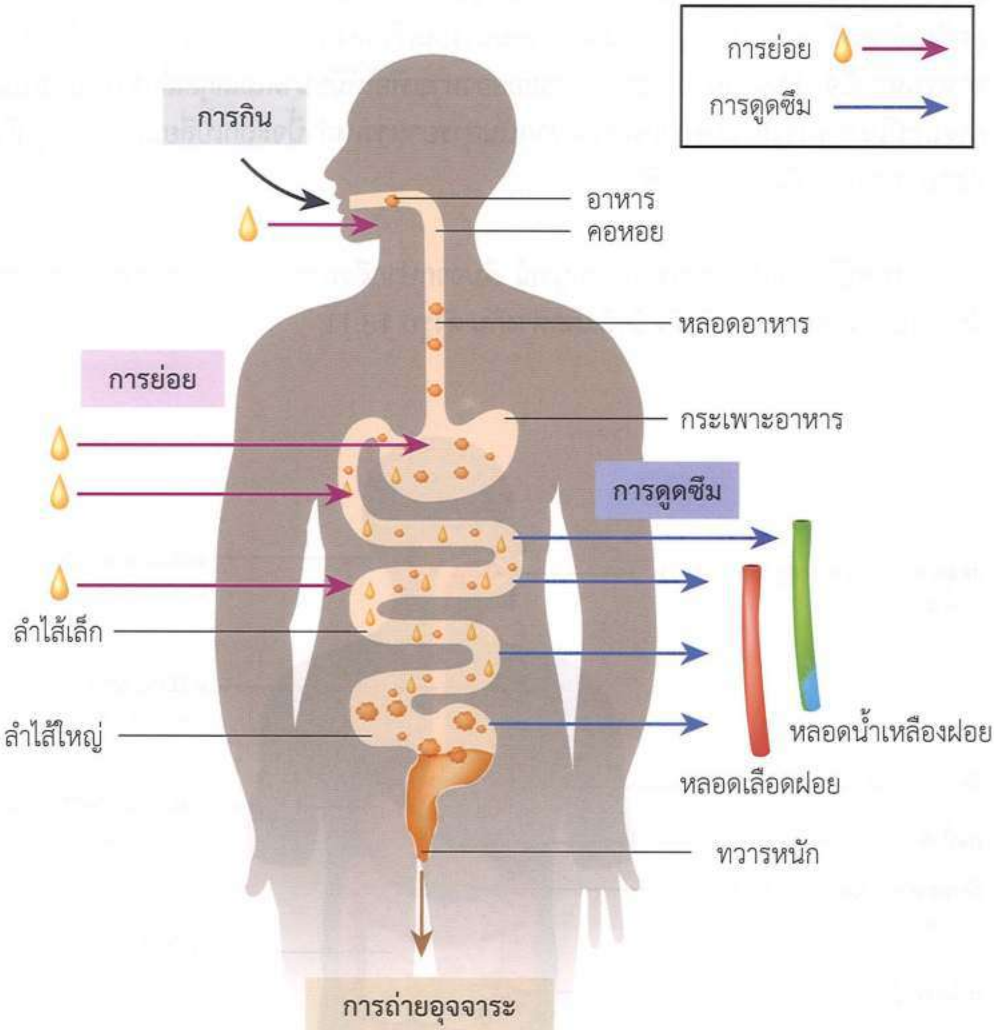
มนุษย์ต้องการอาหารและพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต โดยมีการรับประทานอาหารที่หลากหลาย เช่น ข้าว แป้ง ปลา ผัก ผลไม้ เนื้อ นม ไข่ ถั่ว ซึ่งเป็นอาหารที่มีสารอาหารโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถดูดซึมเข้าสู่ผนังทางเดินอาหารและระบบหมุนเวียนเลือดเพื่อนำไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ดังนั้นอาหารเหล่านี้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยอาหารเพื่อให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เช่น มอโนแซ็กคาไรด์ กรดแอมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล จากนั้นสารอาหารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้พลังงานที่สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิต

มนุษย์มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ เริ่มจากปากถึงทวารหนัก มีลักษณะเป็นท่อและมีอวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหาร ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน ดังรูป 13.11



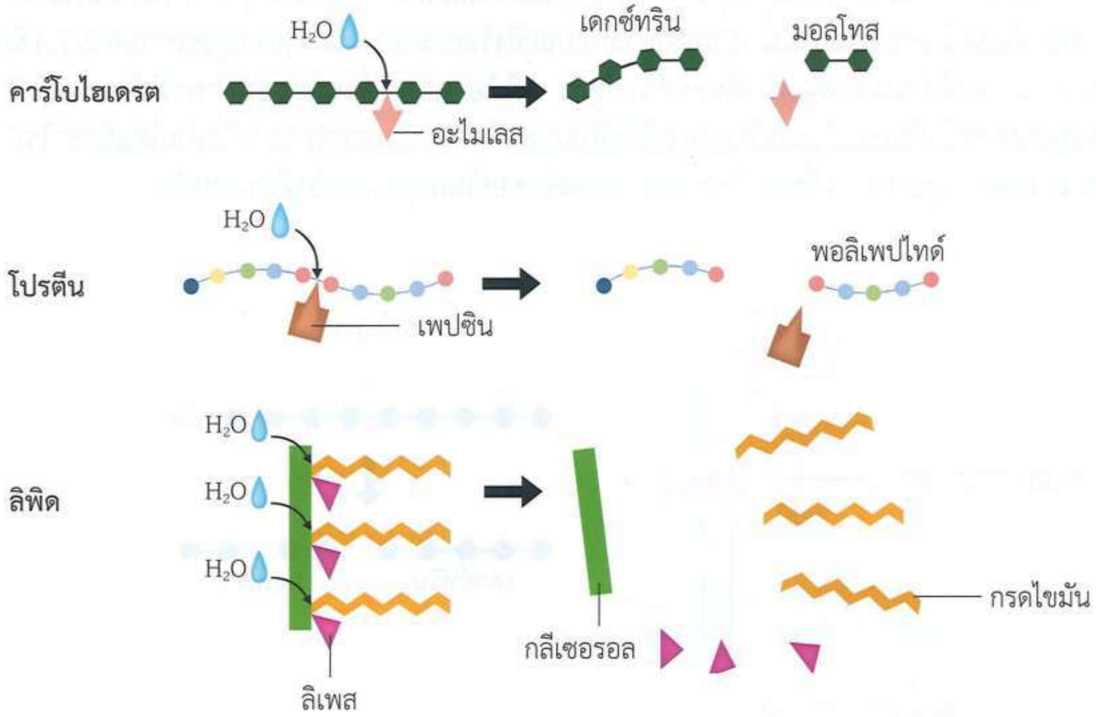
รูป 13.11 ทางเดินอาหารของมนุษย์

กระบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารเพื่อให้ได้สารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจนเซลล์สามารถดูดซึมเพื่อนำไปใช้ ประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ **การกิน** (ingestion) **การย่อย** (digestion) **การดูดซึม** (absorption) และ**การถ่ายอุจจาระ** (defaecation) ดังรูป 13.12



รูป 13.12 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอาหาร

การย่อยเชิงกลเป็นการทำให้อาหารชิ้นใหญ่มีขนาดเล็กลง ซึ่งเกิดขึ้นในปาก นอกจากการย่อยเชิงกลแล้ว ภายในทางเดินอาหารยังมีการย่อยทางเคมีโดยอาศัยเอนไซม์ทำให้โมเลกุลของสารอาหารมีขนาดเล็กจนเซลล์สามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ ซึ่งในการย่อยทางเคมีนั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ต้องใช้น้ำ เรียกว่า **ไฮโดรลิซิส** (hydrolysis) เอนไซม์ในกระบวนการย่อยอาหารมีหลายชนิด เช่น เอนไซม์**อะไมเลส** (amylase) ย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นเดกซ์ทรินและมอลโทส เอนไซม์เพปซินย่อยโปรตีนเป็นพอลิเพปไทด์สายสั้นลง และเอนไซม์ลิเพสย่อยลิพิดเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน ดังรูป 13.13



รูป 13.13 การย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์และน้ำ

เอนไซม์เหล่านี้มีความจำเพาะและทำงานได้ดีที่ค่า pH แตกต่างกัน และสร้างจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ลิเพสสร้างจากตับอ่อน เกิดการย่อยที่บริเวณลำไส้เล็ก และทำงานได้ดีเมื่อมีค่า pH ประมาณ 8

? การย่อยทางเคมีเกิดขึ้นครั้งแรกที่บริเวณใดในทางเดินอาหาร

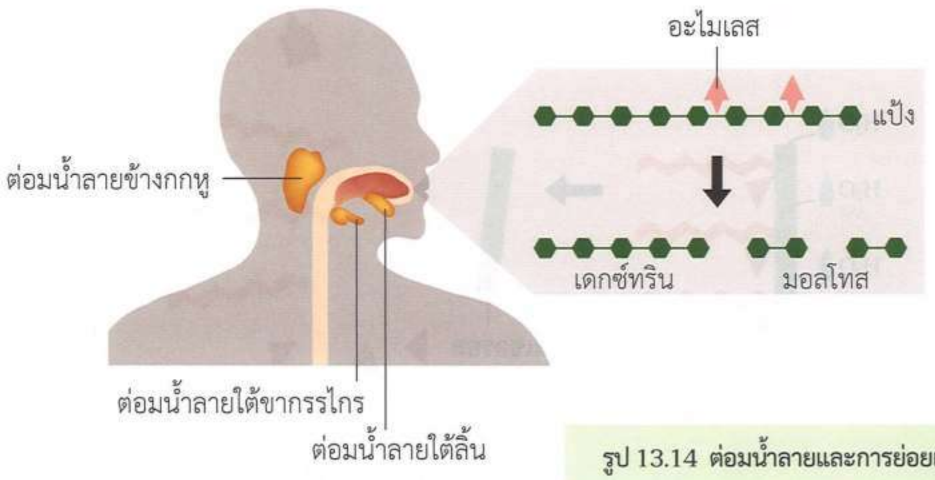
? ถ้าไม่มีเอนไซม์ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ อย่างไร

การย่อยอาหารในปาก

เมื่อนำอาหารเข้าสู่ปาก ภายในช่องปากมีฟันทำหน้าที่บดเคี้ยวอาหารให้มีขนาดเล็กลง ลิ้นจะช่วยคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลาย อาหารที่ผ่านการคลุกเคล้าแล้วจะทำให้สะดวกต่อการกลืน จากนั้นอาหารจะเคลื่อนสู่หลอดอาหาร

? การเคี้ยวอาหารมีความสำคัญต่อการย่อยอาหารอย่างไร

ในช่องปากมีต่อมน้ำลาย 3 คู่ อยู่ที่ข้างกกหู ใต้ลิ้น และใต้ขากรรไกร ดังรูป 13.14 ต่อมเหล่านี้ทำหน้าที่ผลิตน้ำลาย น้ำลายมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 99.5 มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.2-7.4 มีส่วนประกอบที่เป็นเมือกทำหน้าที่หล่อลื่นอาหาร ทำให้อาหารเคลื่อนสู่หลอดอาหารได้ง่าย และมีอะไมเลสทำหน้าที่ย่อยแป้งและไกลโคเจนให้มีโมเลกุลเล็กลง เช่น เดกซ์ทริน หรือเป็นไดแซ็กคาไรด์ คือ มอลโทส ดังรูป 13.14 ขึ้นอยู่กับว่าอะไมเลสจะไปย่อยโมเลกุลของแป้งที่ตำแหน่งใด



รูป 13.14 ต่อมน้ำลายและการย่อยแป้งในปาก

? การเปลี่ยนแปลงของอาหารที่เกิดขึ้นในช่องปากโดยการทำงานของฟันและอะไมเลสแตกต่างกันอย่างไร

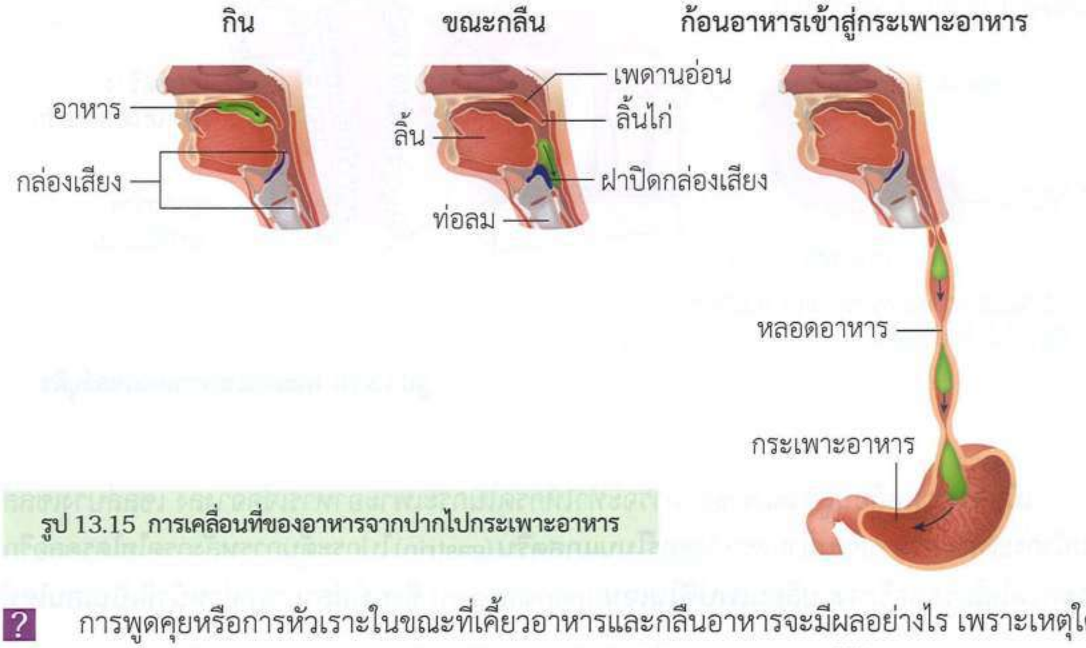
อาหารเคลื่อนที่เข้าสู่**หลอดอาหาร** (esophagus) โดยการกลืน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำงานร่วมกันของคอหอย **ฝาปิดกล่องเสียง** (epiglottis) และ **เพดานอ่อน** (soft palate) **ขณะที่กลืนอาหารสามารถหายใจไปพร้อม ๆ กันได้หรือไม่**

ขณะกลืนอาหาร ลิ้นจะดันอาหารไปด้านหลังของช่องปาก อาหารจะดันลิ้นไก่ และเพดานอ่อนขึ้นด้านบนปิดกั้นทางเดินหายใจเพื่อป้องกันอาหารไม่ให้เข้าสู่โพรงจมูก ขณะเดียวกัน **กล่องเสียง** (larynx) จะยกตัวขึ้นไปชนฝาปิดกล่องเสียงซึ่งเป็นกระดูกอ่อนให้เลื่อนลงมาปิดช่องของกล่องเสียง อาหารจึงไม่เข้าท่อลมแต่จะเคลื่อนที่เข้าสู่หลอดอาหาร

หลอดอาหารมีความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร ทำหน้าที่นำอาหารจากปากลงสู่กระเพาะอาหาร การเคลื่อนที่ของอาหารในหลอดอาหารซึ่งเกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบ เรียกว่า **เพอริสตัลซิส** (peristalsis) ซึ่งจะเกิดต่อเนื่องกันไปจนสุดปลายหลอดอาหาร ดังรูป 13.15 เมื่อก้อนอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหารแล้วจะมีกล้ามเนื้อหูรูดของกระเพาะอาหารปิดกั้นไม่ให้อาหารไหลย้อนกลับขึ้นสู่หลอดอาหาร

รู้หรือไม่

กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่พบบริเวณอวัยวะภายใน เช่น ผนังหลอดอาหาร ผนังกระเพาะอาหาร ผนังลำไส้ ผนังท่อลม ผนังหลอดเลือด และม่านตา เป็นต้น กล้ามเนื้อเหล่านี้ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะยาวหัวท้ายแหลม แต่ละเซลล์มี 1 นิวเคลียส ไม่มีลายพาดขวาง การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ



รูป 13.15 การเคลื่อนที่ของอาหารจากปากไปกระเพาะอาหาร

? การพูดคุยหรือการหัวเราะในขณะที่เคี้ยวอาหารและกลืนอาหารจะมีผลอย่างไร เพราะเหตุใด

? เพราะเหตุใดเวลารับประทานข้าวแล้วเกิดสำลักจึงมีข้าวออกทางจมูกได้

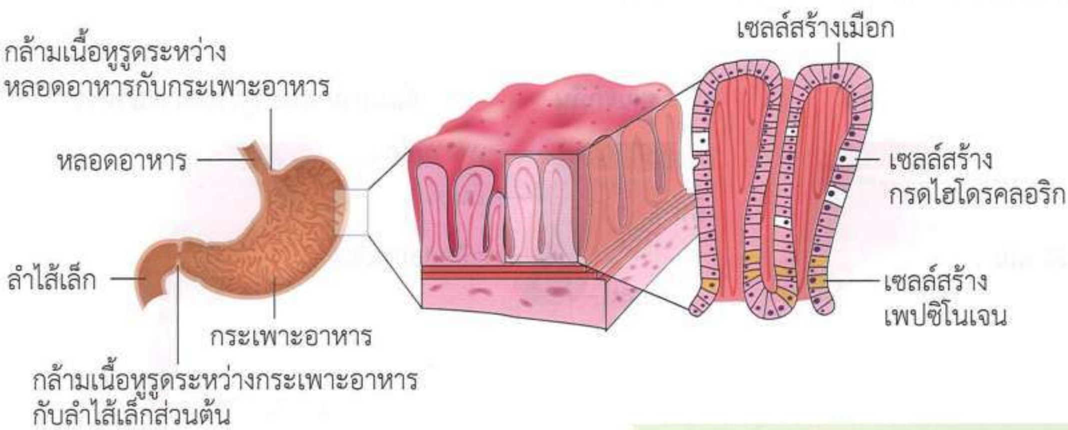
? นักบินอวกาศที่อยู่ในสภาพไร้น้ำหนักโดยศีรษะหันลงสู่พื้นสามารถใช้หลอดดูดน้ำเข้าสู่ทางเดินอาหารโดยไม่ไหลย้อนกลับได้อย่างไร

? การรับประทานอาหารที่แห้ง แข็ง และชิ้นใหญ่เกินไป หรืออาหารที่เคี้ยวไม่ละเอียด ขณะกลืนจะรู้สึกแน่นที่บริเวณอกเป็นเพราะเหตุใด

อาหารจากหลอดอาหารเมื่อเข้าสู่กระเพาะอาหารแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

การย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร

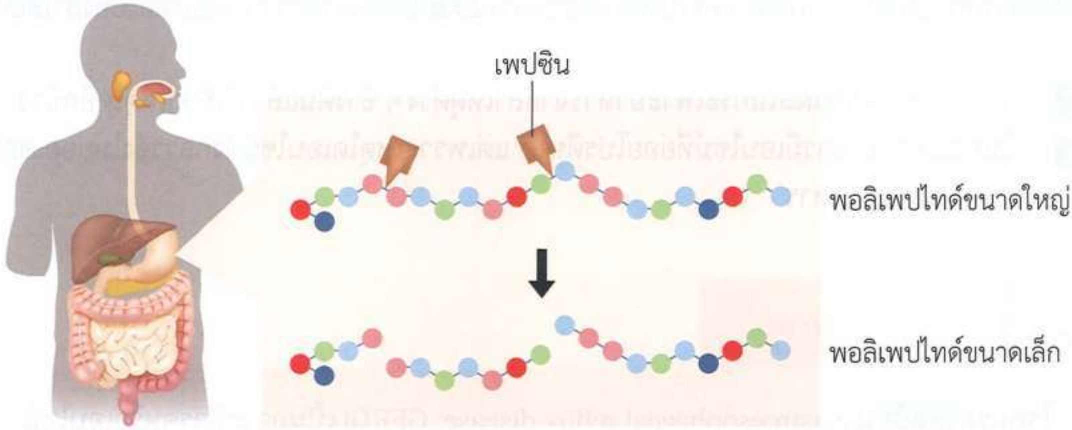
กระเพาะอาหาร (stomach) อยู่ภายในช่องท้องด้านซ้าย ใต้กะบังลม ผนังของกระเพาะอาหารมีกล้ามเนื้อหนา แข็งแรงมาก และยืดหยุ่นได้ดี สามารถขยายความจุได้ 0.5-2 ลิตร มีกล้ามเนื้อหูรูด 2 บริเวณ คือ กล้ามเนื้อหูรูดระหว่างหลอดอาหารกับกระเพาะอาหาร และกล้ามเนื้อหูรูดระหว่างกระเพาะอาหารกับลำไส้เล็กส่วนต้น ผนังด้านในของกระเพาะอาหาร มีลักษณะเป็นรอยย่นประกอบด้วยเซลล์ที่สำคัญหลายชนิด เช่น เซลล์สร้างเมือก เซลล์สร้างกรดไฮโดรคลอริก และเซลล์สร้างเพปซิโนเจน ดังรูป 13.16



รูป 13.16 กระเพาะอาหารและเซลล์บุผิว

เมื่ออาหารเคลื่อนสู่กระเพาะอาหารจะทำให้กรดในกระเพาะอาหารเจือจางลง เซลล์บางเซลล์ที่ผนังกระเพาะอาหารส่วนท้ายจะหลั่ง**ฮอร์โมนแกสตริน** (gastrin) ไปกระตุ้นการหลั่งกรดไฮโดรคลอริก และกรดไฮโดรคลอริกจะเปลี่ยน**เพปซิโนเจน** (pepsinogen) ซึ่งยังไม่สามารถทำหน้าที่เป็นเอนไซม์

ให้เป็นเอนไซม์**เพปซิน** (pepsin) ที่สามารถสลายพันธะเพปไทด์บางพันธะเท่านั้น ดังนั้นโปรตีนที่ถูกเพปซินย่อยส่วนใหญ่ได้เป็นพอลิเพปไทด์สายสั้นลง ดังรูป 13.17



รูป 13.17 การย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหาร

เซลล์ของกระเพาะอาหารถูกทำลายจากกรดไฮโดรคลอริกตลอดเวลา แต่กระเพาะอาหารสามารถสร้างเยื่อบุผิวขึ้นมาทดแทนอยู่เสมอ โดยในทุก ๆ นาที กระเพาะอาหารจะสร้างเซลล์ใหม่มากถึง 500,000 เซลล์ ทำให้กระเพาะอาหารมีเยื่อบุผิวใหม่ทุก ๆ 3 วัน

การเกิดแผลในกระเพาะอาหารอาจเกิดจากการรับประทานอาหารไม่เป็นเวลา เนื่องจากร่างกายมีระบบควบคุมการหลั่งกรดไฮโดรคลอริก และเพปซิโนเจนในกระเพาะอาหารเป็นเวลาตามปกติที่เคยรับประทานอาหาร ดังนั้นเมื่อในกระเพาะอาหารไม่มีอาหารก็ยังคงมีการหลั่งเพปซิโนเจนและกรดไฮโดรคลอริกดังเดิม ทำให้ผนังด้านในของกระเพาะอาหารถูกทำลายจนเป็นแผล เพราะกรดไฮโดรคลอริกไปทำลายเซลล์มากกว่าปกติและไม่สามารถสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทนได้ทัน

การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ หรือมีคาเฟอีน รวมถึงการรับประทานอาหารรสจัดทำให้มีกรดไฮโดรคลอริกในกระเพาะอาหารมากกว่าปกติ นอกจากนี้การรับประทานยาสเตอรอยด์ หรือยาแก้ปวดและยาแก้อักเสบที่ไม่ใช่สเตอรอยด์ก็มีผลทำให้การสร้างเมือกที่ผนังกระเพาะอาหารลดลง เป็นผลให้กรดไฮโดรคลอริกในกระเพาะอาหารทำลายผนังด้านในของกระเพาะอาหารจนเป็นแผลได้

นอกจากนี้การพักผ่อนไม่เพียงพอ มีอารมณ์เครียด วิตกกังวล และรับประทานอาหารไม่ได้จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพโดยรวมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีการหลั่งกรดไฮโดรคลอริกออกมาในกระเพาะอาหารมากกว่าปกติ

ความเป็นกรดในกระเพาะอาหารจะทำลายแบคทีเรียบางชนิดที่ติดมากับอาหาร ทำให้ไม่ก่อโรคกับร่างกาย และทำลายสมบัติของอะไมเลสในน้ำลายที่ปนมากับอาหาร สารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตที่เหลือจากการย่อยในปาก ลิพิด และโปรตีนที่ย่อยแล้ว และยังไม่ได้ย่อยจะถูกลำเลียงต่อไปยังลำไส้เล็ก

? นอกจากการเกิดแผลในกระเพาะอาหารจากสาเหตุต่าง ๆ ข้างต้นแล้ว ยังมีสาเหตุใดอีกบ้าง

? ในกระเพาะอาหารมีเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้ แต่เพราะเหตุใดเอนไซม์ดังกล่าวจึงไม่ย่อยเซลล์ของกระเพาะอาหาร

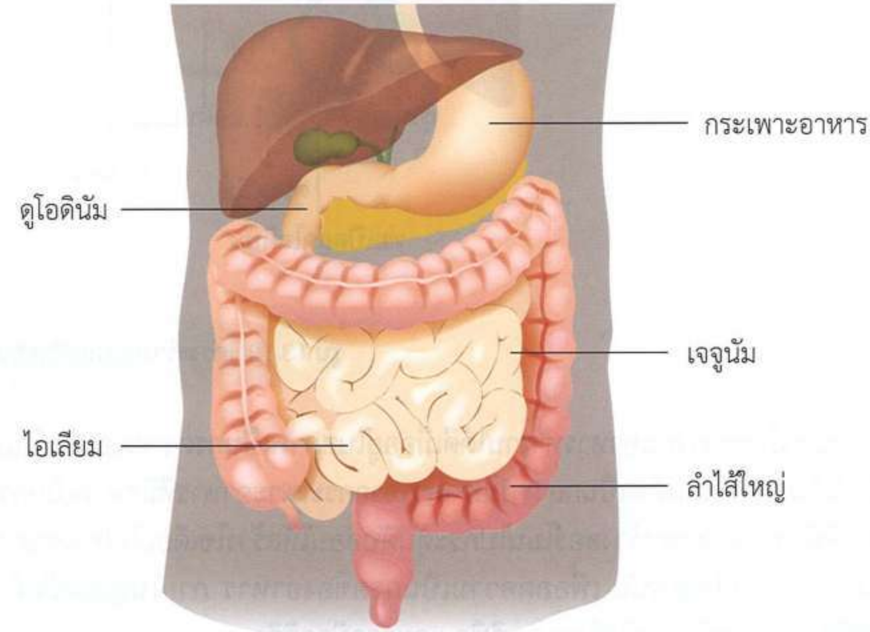
เชื่อมโยงสุขภาพ

โรคกรดไหลย้อน (gastroesophageal reflux disease; GERD) เป็นภาวะที่กรดหรือเอนไซม์จากกระเพาะอาหารไหลย้อนกลับมาที่หลอดอาหาร จนทำให้หลอดอาหารเกิดการอักเสบเนื่องจากพฤติกรรมการกินอาหารที่ไม่ถูกต้อง อาการของโรคกรดไหลย้อนจะรู้สึกจุกเสียดบริเวณใต้ลิ้นปี่ ปวดแสบปวดร้อนบริเวณกลางอก จุกเสียดแน่นคล้ายอาหารไม่ย่อย คลื่นไส้ และอาจมีน้ำรสเปรี้ยวหรือขมไหลย้อนขึ้นมาในปากและคอ กลืนอาหารได้ลำบาก สาเหตุที่ทำให้เกิดโรคกรดไหลย้อนมีหลายประการ เช่น การทำงานที่ผิดปกติของกล้ามเนื้อหูรูดระหว่างหลอดอาหารกับกระเพาะอาหารหรือความผิดปกติของการบีบตัวของกระเพาะอาหาร ซึ่งทำให้อาหารตกค้างอยู่ในกระเพาะอาหารนานเกินไปจนกรดจากกระเพาะอาหารไหลย้อนกลับเข้าไปในหลอดอาหาร การทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มแอลกอฮอล์ หรือน้ำอัดลม การรับประทานอาหารที่มีลิพิดสูง รสจัด และปริมาณมากในมื้อเดียว การนอนทันทีหลังรับประทานอาหาร ดังนั้นการปรับพฤติกรรมดังกล่าวสามารถช่วยบรรเทาอาการของโรคกรดไหลย้อนได้

อาหารเมื่อเข้าสู่ลำไส้เล็กแล้วมีกระบวนการอย่างไรในการทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กลง และร่างกายจะนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้อย่างไร

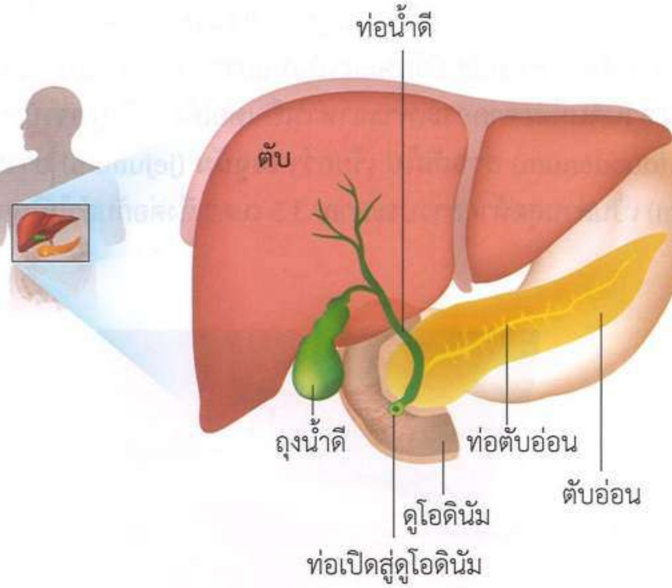
การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก

อาหารที่ย่อยแล้วบางส่วนและที่ยังไม่ถูกย่อยจะเคลื่อนผ่านกล้ามเนื้อหูรูดระหว่างกระเพาะอาหารกับลำไส้เล็ก ลำไส้เล็กมีลักษณะเป็นท่อยาวประมาณ 6-7 เมตร ขดอยู่ในช่องท้อง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนต้นที่ต่อจากกระเพาะอาหารเป็นท่อโค้งรูปตัวยู ยาวประมาณ 25 เซนติเมตร เรียกว่า **ดูโอดินัม** (duodenum) ส่วนถัดไป เรียกว่า **เจจูนัม** (jejunum) ยาวประมาณ 2.5 เมตร และ**ไอเลียม** (ileum) เป็นส่วนสุดท้ายยาวประมาณ 3.5 เมตร ซึ่งต่อกับลำไส้ใหญ่ ดังรูป 13.18



รูป 13.18 ส่วนประกอบของลำไส้เล็ก

การย่อยอาหารในลำไส้เล็กเกี่ยวข้องกับการทำงานของตับ ตับอ่อน และผนังลำไส้เล็กซึ่งหลั่งสารหลายชนิดออกมาทำงานร่วมกัน ดังรูป 13.19

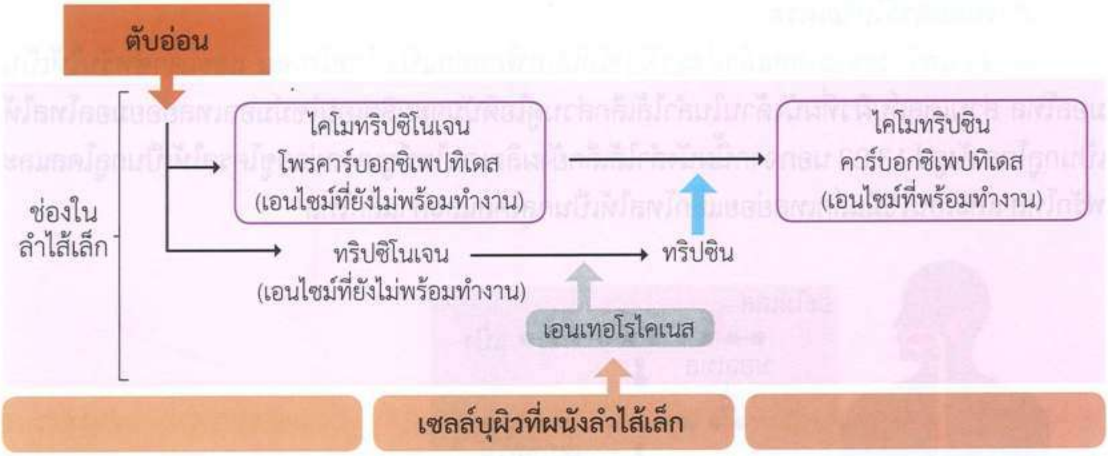


รูป 13.19 โครงสร้างของตับ ตับอ่อน และดูโอดินัม

เอนไซม์ในกระเพาะอาหารทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพเป็นกรด ส่วนเอนไซม์ในลำไส้เล็กทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพค่อนข้างเป็นกลาง เมื่ออาหารจากกระเพาะอาหารที่มีสภาพเป็นกรดเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ดูโอดินัมจะสร้างฮอร์โมนไปกระตุ้นตับอ่อนให้สร้างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งเป็นเบสปล่อยออกมาสู่ดูโอดินัม เพื่อลดความเป็นกรดของอาหาร ภายในดูโอดินัมมีการย่อยอาหารหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และกรดนิวคลิอิก

การย่อยโปรตีน

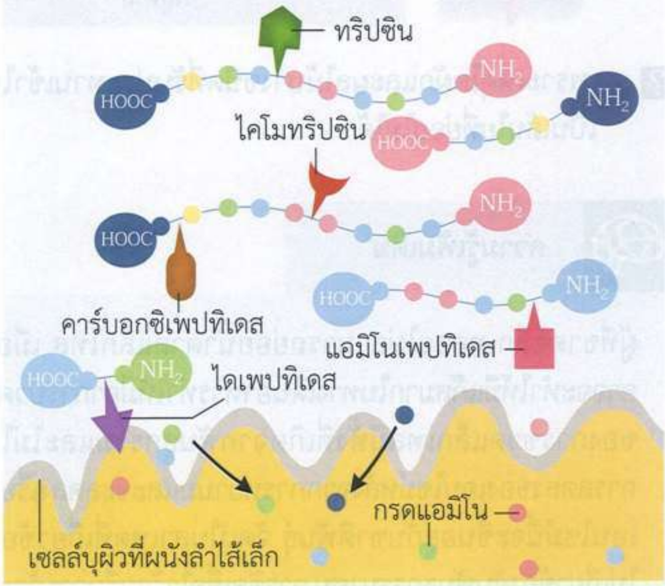
ตับอ่อน (pancreas) ทำหน้าที่เป็นทั้งต่อมไร้ท่อและต่อมมีท่อ ส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ส่วนที่เป็นต่อมมีท่อทำหน้าที่สร้างเอนไซม์แล้วส่งให้ลำไส้เล็ก เช่น **ทริปซิโนเจน** (trypsinogen) **ไคโมทริปซิโนเจน** (chymotrypsinogen) และ **โพรคาร์บอกซิเพปทิเดส** (procarboxypeptidase) เอนไซม์เหล่านี้จะอยู่ในสภาพที่ยังไม่สามารถทำงานได้จนกว่าจะเข้าสู่ลำไส้เล็กเพื่อป้องกันการย่อยเซลล์ของตับอ่อน ลำไส้เล็กจะสร้างเอนไซม์ **เอนเทอโรไคเนส** (enterokinase) เพื่อเปลี่ยนทริปซิโนเจนให้เป็น**ทริปซิน** (trypsin) และทริปซินจะเปลี่ยนไคโมทริปซิโนเจนให้เป็น**ไคโมทริปซิน** (chymotrypsin) และเปลี่ยนโพรคาร์บอกซิเพปทิเดสให้เป็น**คาร์บอกซิเพปทิเดส** (carboxypeptidase) ซึ่งพร้อมจะทำงานได้ ดังรูป 13.20



รูป 13.20 การทำงานร่วมกันของเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็ก

ทริปซินและไคโมทริปซินจะย่อยโปรตีนให้เป็นเพปไทด์ ส่วนคาร์บอกซิเพปทิเดสจะย่อยโปรตีนและเพปไทด์ให้เป็นกรดแอมิโน ดังรูป 13.21

เซลล์บุผิวที่ผนังด้านในของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมจะผลิตเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ แอมิโนเพปทิเดส ไดเพปทิเดส ไตรเพปทิเดส โดยเอนไซม์เหล่านี้จะย่อยเพปไทด์ให้เป็นกรดแอมิโน



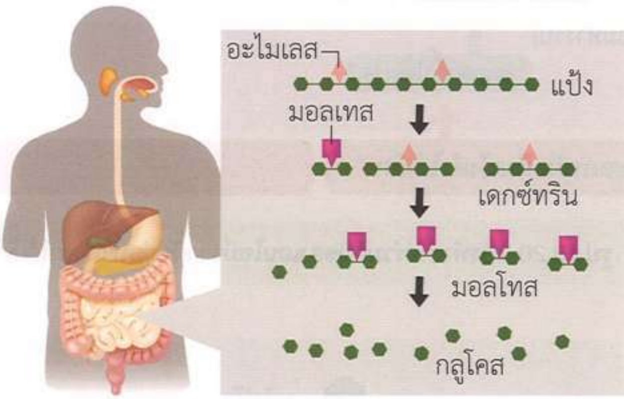
รูป 13.21 การย่อยเพปไทด์ให้เป็นกรดแอมิโน

ชวนคิด

? คาร์บอกซิเพปทิเดสและแอมิโนเพปทิเดสหากพิจารณาจากชื่อเอนไซม์แล้ว เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จะย่อยพอลิเพปไทด์ให้เป็นกรดแอมิโนได้อย่างไร

การย่อยคาร์โบไฮเดรต

ตับอ่อนสร้างอะไมเลสแล้วส่งมาที่ลำไส้เล็กเพื่อย่อยแป้ง ไกลโคเจน และเดกซ์ทรินให้เป็นมอลโทส ส่วนเซลล์บุผิวที่ผนังด้านในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมจะผลิตเอนไซม์มอลเทสย่อยมอลโทสให้เป็นกลูโคส ดังรูป 13.22 นอกจากนี้ผนังลำไส้เล็กยังผลิตเอนไซม์ซูเครสย่อยซูโครสให้เป็นกลูโคสและฟรักโทส และเอนไซม์แล็กเทสย่อยแล็กโทสให้เป็นกลูโคสและกาแล็กโทส



รูป 13.22 การย่อยคาร์โบไฮเดรต

? เพราะเหตุใดผักและผลไม้บางชนิดที่รับประทานเข้าไปจึงไม่สามารถย่อยได้หมด ยังคงเหลือเป็นเส้นใยที่ย่อยไม่ได้

ความรู้เพิ่มเติม

ผู้ที่ขาดแล็กเทสจะไม่สามารถย่อยน้ำตาลแล็กโทส เมื่อดื่มนมที่มีแล็กโทสในปริมาณมากอาจจะทำให้มีแก๊สมากในทางเดินอาหารทำให้มีอาการปวดท้อง ท้องเสีย คลื่นไส้อาเจียน สาเหตุของการขาดแล็กเทสมีทั้งที่เกิดจากพันธุกรรมและไม่ได้เกิดจากพันธุกรรม คือ เกิดจากการลดลงของเอนไซม์หลังจากการหย่านมและจะลดลงเรื่อย ๆ ตามอายุที่มากขึ้น การลดลงของเอนไซม์นี้จะขึ้นอยู่กับชาติพันธุ์ จัดเป็นสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับพันธุกรรม ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งไม่เกี่ยวข้องกับพันธุกรรม เช่น การติดเชื้อไวรัสหรือการอักเสบเรื้อรังของเซลล์บุผิวผนังลำไส้เล็ก ซึ่งอาการจะดีขึ้นเมื่อลำไส้เล็กกลับสู่สภาพปกติ

การดูแลรักษาผู้ที่ขาดแล็กเทส อาจทำได้โดยดื่มนมที่ไม่มีแล็กโทส นมถั่วเหลือง นมที่ทำจากข้าว หรือโยเกิร์ตที่ใส่แบคทีเรียที่มีการสร้างแล็กเทส ปัจจุบันมีแล็กเทสสำเร็จรูปสำหรับผู้ที่ขาดแล็กเทส

การย่อยลิพิด

ตับ ทำหน้าที่สร้าง**น้ำดี** (bile) เก็บไว้ที่**ถุงน้ำดี** (gallbladder) จากถุงน้ำดีจะมีท่อนำน้ำดีมาเปิดเข้าสู่ดูโอดินัม ดังรูป 13.19 การทำงานของน้ำดีสามารถศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 13.3 ทดสอบสมบัติของน้ำดี

จุดประสงค์

ศึกษาสมบัติของน้ำดีในกระบวนการย่อยลิพิด

วัสดุและอุปกรณ์

1. น้ำดี
2. น้ำมันพืช
3. น้ำ
4. สีซูดาน
5. กระบอกตวงหรือหลอดฉีดยา
6. หลอดหยด
7. หลอดทดลอง

วิธีการทำกิจกรรม

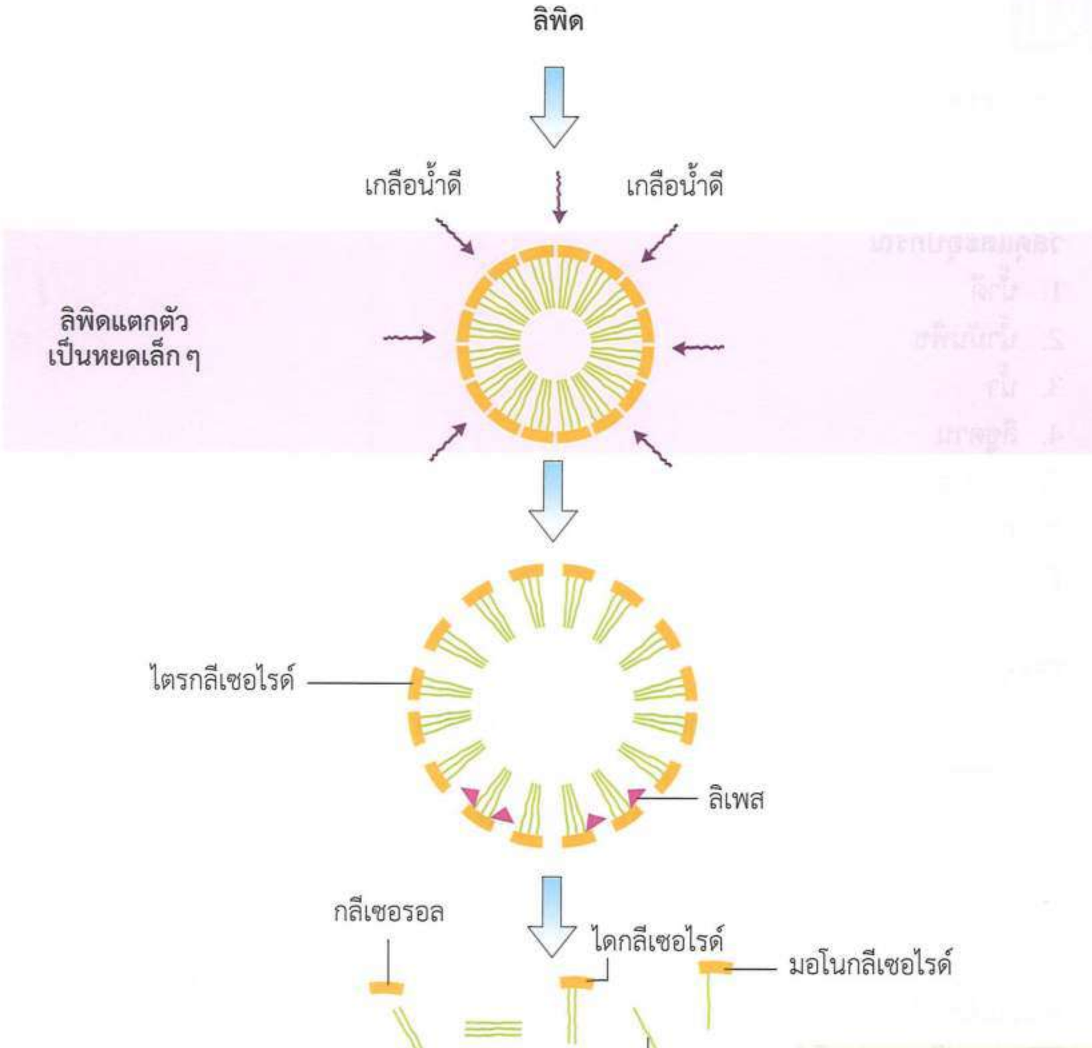
1. นำน้ำมันพืช 1 mL ผสมกับสีซูดาน 1 หยด และเติมน้ำ 1 mL ลงไปในหลอดทดลอง จำนวน 2 หลอด
2. เติมน้ำดีลงในหลอดทดลองที่ 1 จำนวน 3-4 หยด เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้สักครู่
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลง เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างหลอดที่ 1 กับหลอดที่ 2 และบันทึกผล

คำถามท้ายกิจกรรม

? การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองทั้งสองเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? น้ำดีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันพืชอย่างไร

น้ำดีมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ **เกลือน้ำดี** (bile salt) ซึ่งช่วยให้ลิพิดแตกตัวเป็นหยดเล็ก ๆ และแขวนลอยอยู่ในน้ำในรูป **อิมัลชัน** (emulsion) ตับอ่อนและเซลล์บุผิวที่ผนังลำไส้เล็กจะสร้างลิเพส ซึ่งจะย่อยลิพิดที่อยู่ในรูปอิมัลชันให้เป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอล ดังรูป 13.23 หลังจากนั้นเกลือน้ำดีจะถูกดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ เพื่อให้ตับนำกลับมาใช้ใหม่



รูป 13.23 การย่อยลิพิด

? ในกรณีผู้ป่วยที่ถูกตัดกระเพาะอาหารเนื่องจากเป็นมะเร็งที่กระเพาะอาหารจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

? ผู้ป่วยที่ถูกตัดลำไส้เล็กออกไปบางส่วนจะมีผลต่อการย่อยอาหารอย่างไร

การย่อยกรดนิวคลิอิก

ตับอ่อนทำหน้าที่สร้างเอนไซม์แล้วส่งมาที่ลำไส้เล็กเพื่อย่อยกรดนิวคลิอิกทั้ง DNA และ RNA โดยเอนไซม์**ดีออกซีไรโบนิวคลีเอส** (deoxyribonuclease) ย่อย DNA และเอนไซม์**ไรโบนิวคลีเอส** (ribonuclease) ย่อย RNA ได้เป็นนิวคลีโอไทด์ และมีเอนไซม์**นิวคลีโอทิเดส** (nucleotidase) ย่อยนิวคลีโอไทด์ได้เป็นนิวคลีโอไซด์และฟอสเฟต ซึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่ไมโครวิลลัสของเซลล์บุผิวที่ผนังลำไส้เล็ก จากนั้นนิวคลีโอไซด์จะถูกย่อยโดยเอนไซม์**นิวคลีโอซิเดส** (nucleosidase) ได้เป็นน้ำตาลเพนโทส และไนโตรจีนัสเบส

ตรวจสอบความเข้าใจ

? สรุปกระบวนการย่อยอาหารโดยอาศัยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์โดยเติมข้อมูลในตารางให้สมบูรณ์

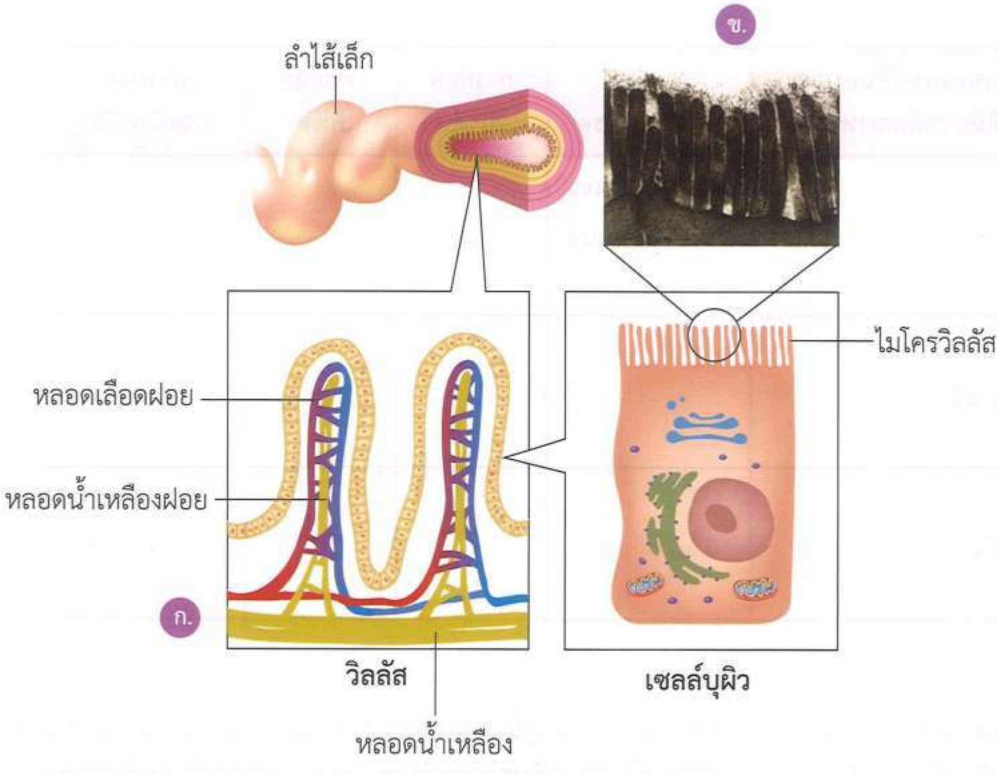
ส่วนของทางเดินอาหารที่มีการย่อยอาหาร	การย่อยคาร์โบไฮเดรต	การย่อยโปรตีน	การย่อยลิพิด	การย่อยกรดนิวคลิอิก
ช่องปาก	แป้งและไกลโคเจน ↓ อะไมเลส เดกซ์ทริน มอลโทส			
กระเพาะอาหาร				
ลำไส้เล็ก				

เมื่ออาหารผ่านกระบวนการย่อยแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป **อาหารในทางเดินอาหารที่ผ่านกระบวนการย่อยแล้วจะถูกนำเข้าสู่เซลล์ได้อย่างไร**

การดูดซึมสารอาหาร

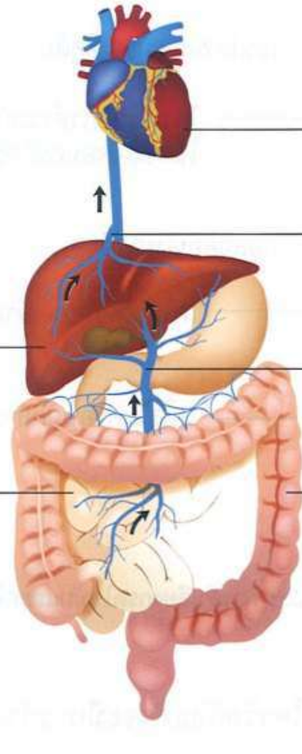
การดูดซึมสารอาหารเป็นกระบวนการที่มีการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์บุผิวของทางเดินอาหาร ที่กระเพาะอาหารจะมีการดูดซึมสารบางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ คาเฟอีน และยาบางชนิด แต่ดูดซึมสารอาหารได้น้อย ส่วนลำไส้เล็กจะดูดซึมสารอาหารได้มากกว่า โดยสารอาหารจะถูกลำเลียงเข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน เช่น กลูโคสลำเลียงเข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีแอกทีฟทรานสปอร์ต ฟรักโทสลำเลียงโดยการแพร่แบบฟาซิลิเทต และกลีเซอรอลลำเลียงโดยการแพร่แบบธรรมดา

ผนังด้านในของลำไส้เล็กซึ่งบุด้วยเซลล์บุผิวชั้นเดียว มีส่วนยื่นเล็ก ๆ คล้ายนิ้ว เรียกว่า **วิลลัส** (villus) เป็นจำนวนมาก ความหนาแน่นของวิลลัสมีประมาณ 20-40 หน่วยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร และด้านนอกเซลล์บุผิวของวิลลัสยังมีส่วนยื่นออกไป เรียกว่า **ไมโครวิลลัส** (microvillus) ซึ่งมีเป็นจำนวนมาก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึม ภายในวิลลัสมีหลอดเลือดฝอย และหลอดน้ำเหลืองฝอย ซึ่งจะรับสารอาหารที่ถูกดูดซึมผ่านเซลล์บุผิวของวิลลัสเข้าไป ดังรูป 13.24



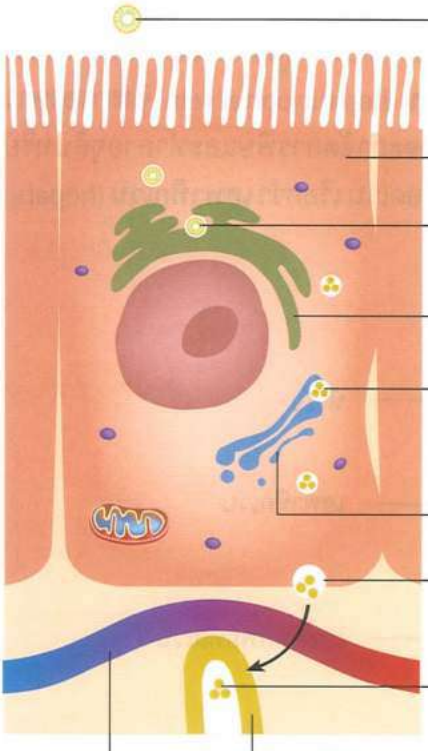
รูป 13.24 ก. วิลลัสและเซลล์บุผิว
ข. ไมโครวิลลัสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

สารอาหารที่ย่อยแล้ว เช่น กรดแอมิโน มอโนแซ็กคาไรด์ รวมทั้งวิตามินบางชนิด และธาตุอาหาร จะถูกดูดซึมเข้าสู่ไมโครวิลลัสของเซลล์บุผิวที่ผนังลำไส้เล็ก แล้วลำเลียงเข้าสู่หลอดเลือดฝอย ผ่านทางหลอดเลือดเวนจากลำไส้เล็กเข้าสู่ตับ เรียกว่า **เฮพาทิกพอทัลเวน** (hepatic portal vein) ซึ่งสารอาหารเหล่านี้อาจมีสารพิษหรือจุลินทรีย์ปะปนอยู่ จากนั้นเซลล์ตับจะกำจัดสารพิษและทำลายจุลินทรีย์ก่อนที่สารอาหารเหล่านี้จะถูกลำเลียงออกจากตับทางหลอดเลือดเวน เรียกว่า **เฮพาทิกเวน** (hepatic vein) เข้าสู่หัวใจ ดังรูป 13.25



รูป 13.25 การลำเลียงสารอาหารเข้าและออกจากตับ

ส่วนสารอาหารจำพวกกรดไขมัน กลีเซอรอล และวิตามินที่ละลายในลิพิดจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ซึ่งไม่สามารถลำเลียงเข้าสู่หลอดเลือดฝอยได้ แต่จะถูกลำเลียงเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองฝอย เมื่อลิพิดที่ย่อยแล้วถูกดูดซึมเข้าสู่ไมโครวิลลัสของเซลล์บุผิว กรดไขมันและกลีเซอรอลจะถูกสังเคราะห์ให้เป็นไตรกลีเซอไรด์ภายในเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมของเซลล์บุผิวของวิลลัส จากนั้นไตรกลีเซอไรด์จะรวมกับโปรตีนและลิพิดบางชนิดภายในกอลจิคอมเพล็กซ์ ได้เป็นสารที่เรียกว่า**ไคโลไมครอน** (chylomicron) แล้วจึงลำเลียงออกนอกเซลล์เข้าสู่หลอดน้ำเหลืองฝอยไปยังหลอดน้ำเหลืองแล้วลำเลียงเข้าหลอดเลือดเวนก่อนเข้าหัวใจโดยไม่ผ่านตับ เลือดที่ออกจากหัวใจจะนำสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ดังรูป 13.26



รูป 13.26 การลำเลียงกรดไขมันและกลีเซอรอลเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองฝอย

? วิตามินเอ เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ไมโครวิลลัสแล้วจะมีการลำเลียงเข้าสู่หลอดเลือดฝอยหรือหลอดน้ำเหลืองฝอย เพราะเหตุใด

ความรู้เพิ่มเติม

สารที่ช่วยในการขนส่งลิพิด

ไคโลไมครอน เป็นลิพิดที่พบในเลือดหลังจากรับประทานอาหารที่มีลิพิดมาก ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 84 ปกติจะไม่พบไคโลไมครอนในเลือดหลังจากอดอาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ไคโลไมครอนถูกสร้างที่เซลล์บุผิวที่ผนังลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ขนส่งไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากอาหารไปสะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน

LDL (low-density lipoproteins) เป็นลิโพโปรตีนมีส่วนประกอบของคอเลสเตอรอลประมาณร้อยละ 45 ร่างกายสร้าง LDL เพื่อทำหน้าที่ขนส่งคอเลสเตอรอลจากตับไปยังผนังหลอดเลือด เนื้อเยื่อไขมัน และกล้ามเนื้อทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น ถ้าสูงเป็นระยะเวลานานจะเกิดการสะสมและเกาะตามหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดเกิดการอุดตันหรือเปราะได้ หากมีมากเกินไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย

HDL (high-density lipoproteins) เป็นลิโพโปรตีนที่ร่างกายสร้างจากตับและลำไส้เล็กทำหน้าที่ขนส่งคอเลสเตอรอลจากเซลล์ต่าง ๆ ไปยังตับเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำดี ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำลง หากมี HDL มากจะส่งผลดีต่อร่างกาย

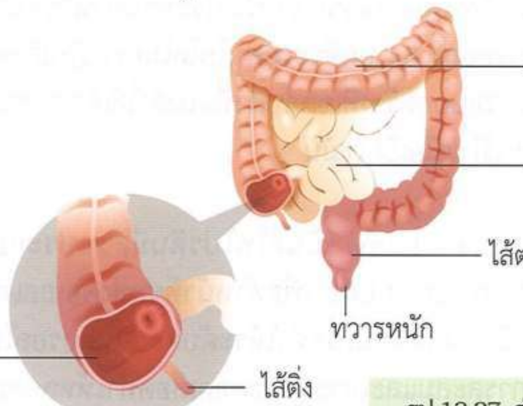
สารอาหารที่ผ่านการย่อยแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ในการหายใจระดับเซลล์ และการสังเคราะห์สารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่

หลังจากการย่อยและดูดซึมสารอาหารแล้ว **อาหารที่ย่อยไม่ได้หรือที่เหลือจากการย่อยร่างกายจะมีกระบวนการกำจัดออกจากร่างกายอย่างไร**

การถ่ายอุจจาระ

สารอาหารส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก อาหารที่ย่อยไม่หมดหรือย่อยไม่ได้เรียกว่ากากอาหาร รวมทั้งน้ำ วิตามิน และธาตุอาหารบางส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็กจะเข้าสู่ลำไส้ใหญ่โดยผ่านหูรูดที่กั้นระหว่างลำไส้เล็กกับลำไส้ใหญ่

ลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ยาวประมาณ 1.5 เมตร ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ **ซีกัม** (caecum) **โคลอน** (colon) และ**ไส้ตรง** (rectum) ซึ่งต่อกับ**ทวารหนัก** (anus) ส่วนของซีกัมมีส่วนยื่นออกมาเรียกว่า **ไส้ติ่ง** (appendix) ซึ่งไม่ได้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการย่อยอาหาร แต่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันและเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ดังรูป 13.27



รูป 13.27 ส่วนประกอบของลำไส้ใหญ่

เซลล์ที่ผนังด้านในของลำไส้ใหญ่จะดูดซึมน้ำ วิตามิน ธาตุอาหาร และขับเมือกออกมาหล่อลื่นเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของกากอาหาร และพบว่าในบริเวณลำไส้ใหญ่มี**ไมโครไบโอม** (microbiome) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ทั้งหมดในสภาวะแวดล้อมหนึ่ง จุลินทรีย์ที่พบในลำไส้ใหญ่ส่วนใหญ่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เช่น *E. coli* ดำรงชีวิตโดยอาศัยสารอาหารจากกากอาหาร และช่วยสังเคราะห์วิตามินเค วิตามินบี 7 วิตามินบี 9 วิตามินบี 12 ซึ่งถูกดูดซึมและลำเลียงไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้แบคทีเรียบางกลุ่มในลำไส้ใหญ่ยังย่อยสลายกากอาหารแล้วได้แก๊สมีเทนและแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งบางครั้งจะถูกขับออกมาโดยการผายลม

ในทางเดินอาหารพบไมโครไบโอมมากกว่า 100 ชนิด นอกเหนือจากชนิดที่มีประโยชน์แล้วบางชนิดก่อให้เกิดโรค เช่น พบว่าบุคคลที่มีแบคทีเรีย *Helicobacter pylori* ในกระเพาะอาหารมีโอกาสเป็นเนื้องอก มะเร็ง และแผลในกระเพาะอาหารมากกว่าคนที่ไม่พบแบคทีเรียชนิดนี้ ไมโครไบโอมในลำไส้ใหญ่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ลำไส้อักเสบเรื้อรัง นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับโรคอ้วน โรคหัวใจ โรคข้อรูมาตอยด์ โรคไขมันพอกตับ โรคตับแข็ง และโรคมะเร็งตับ

? ถ้ากากอาหารอยู่ในลำไส้ใหญ่นาน ๆ จะเกิดผลอย่างไร

? การรับประทานอาหารที่มีเส้นใยมีประโยชน์ต่อร่างกายอย่างไร

? การรับประทานยาปฏิชีวนะจะส่งผลต่อไมโครไบโอมในทางเดินอาหารอย่างไร

ความรู้เพิ่มเติม

โพรไบโอติก (probiotic) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร โดยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ให้มากขึ้น ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นโทษลง โดยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายเพื่อต่อสู้กับจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคไม่ให้สามารถเกาะติดกับผนังลำไส้ โดยวิธีการหลั่งสารออกมาต้านจุลินทรีย์ชนิดอื่นหรือเจริญเติบโตไปแข่งขันกับจุลินทรีย์ก่อโรคไม่ให้เจริญและทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคถูกขับออกมาพร้อมกับอุจจาระ จุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติก เช่น lactic acid bacteria (LAB) และ *Bifidobacteria* sp. พบอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์นมแปรรูป เช่น นมเปรี้ยว โยเกิร์ต อาหารหมัก เช่น ข้าวหมาก และผักดอง

พรีไบโอติก (prebiotic) เป็นส่วนของอาหารที่ไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหารช่วยกระตุ้นการเจริญและกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มโพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ พรีไบโอติก ส่วนมากเป็นสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้ พรีไบโอติกและโพรไบโอติกยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ เช่น ลดอาการท้องผูก ป้องกันการเกิดอาการท้องเสีย ท้องเดิน ช่วยเผาผลาญลิพิด เพิ่มการดูดซึมแคลเซียม ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและป้องกันมะเร็งลำไส้ เป็นต้น พรีไบโอติกส่วนใหญ่พบในผักผลไม้ เช่น หัวหอม กล้วยน้ำว้า กระเทียม และหน่อไม้ฝรั่ง

จากการศึกษาพบว่า อาหารที่รับประทานเข้าไปจะไปถึงลำไส้ใหญ่ได้ภายในเวลา 4 ชั่วโมง และจะอยู่ในลำไส้ใหญ่ส่วนโคลอนประมาณ 8-9 ชั่วโมง จากนั้นอีกประมาณ 3-4 ชั่วโมง กากอาหารจะเคลื่อนถึงบริเวณไส้ตรง และอยู่ในไส้ตรงระยะหนึ่งจึงขับออกทางทวารหนัก

? อาหารเคลื่อนมาตามหลอดอาหารจนถึงทวารหนักได้อย่างไร

? การป้องกันไม่ให้เกิดอาการท้องผูกและโรคริดสีดวงทวารสามารถทำได้อย่างไร

? ถ้าการทำงานของลำไส้ใหญ่ผิดปกติเพราะได้รับสารบางอย่าง เช่น ดีเกลือ (แมกนีเซียมซัลเฟต) หรือจุลินทรีย์บางชนิด เช่น เชื้อบิด เชื้ออหิวาตกโรค จะทำให้ผนังลำไส้ใหญ่ดูดน้ำและธาตุอาหารกลับได้น้อยกว่าปกติจะเกิดผลอย่างไรต่อร่างกาย

ระบบย่อยอาหารมีการทำงานร่วมกันกับระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบต่อมไร้ท่อ และมีการควบคุมโดยระบบประสาท เมื่อรับประทานอาหารเข้าสู่ร่างกายศูนย์ควบคุมเกี่ยวกับการย่อยอาหารที่สมองจะส่งสัญญาณมายังทางเดินอาหารเพื่อให้อาหารเคลื่อนที่และเกิดการย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก โดยจะมีฮอร์โมนไปกระตุ้นการสร้างและหลั่งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร และเกิดการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลืองเพื่อลำเลียงไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

โครงสร้างที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการย่อยอาหารในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างของร่างกายซับซ้อนจะมีโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารที่ซับซ้อน เช่น มีอวัยวะที่สร้างเอนไซม์เพื่อทำหน้าที่ย่อยอาหารแต่ละชนิด มีการปรับสภาพของทางเดินอาหารให้เหมาะสมต่อการย่อยอาหาร มีการปรับสภาพความเป็นกรด-เบสให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหาร เป็นต้น อาหารที่ผ่านการย่อยจนมีโมเลกุลขนาดเล็กลงจนสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์บุผิวที่ผนังทางเดินอาหาร และเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดเพื่อลำเลียงไปยังเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายต่อไป

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. การย่อยอาหารภายนอกเซลล์เป็นการปล่อยเอนไซม์มาย่อยอาหารภายนอกเซลล์แล้วดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ ส่วนการย่อยอาหารภายในเซลล์ อาหารจะเข้าสู่เซลล์เกิดเป็นฟูดแวคิวโอล แล้วถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากไลโซโซม

2. สัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร เช่น ฟองน้ำ จะย่อยอาหารภายในเซลล์ โดยนำอาหารเข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีฟาโกไซโทซิส และย่อยอาหารภายในฟูดแวคิวโอล

3. สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ เช่น ไฮดราและพลานาเรีย มีทางเดินอาหารที่มีช่องเปิดเพียงช่องเดียว ซึ่งเป็นทั้งทางเข้าของอาหารและทางออกของกากอาหาร

4. ไฮดรามีเซลล์ที่ผนังด้านในของลำตัวซึ่งทำหน้าที่สร้างเอนไซม์เพื่อปล่อยออกสู่ทางเดินอาหารมาย่อยอาหารภายในช่องลำตัวซึ่งจัดเป็นการย่อยอาหารภายนอกเซลล์ เซลล์บางเซลล์สามารถนำอาหารเข้าสู่เซลล์และมีการย่อยอาหารภายในเซลล์อีกด้วย

5. พลานาเรียมีการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารให้เป็นชิ้นเล็กลงภายนอกตัวและอาหารบางส่วนที่ย่อยแล้วจะถูกย่อยต่อในช่องภายในลำตัวและภายในเซลล์จนสมบูรณ์ ส่วนกากอาหารก็จะขับออกทางปาก

6. สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ มีทางเดินอาหารที่มีช่องเปิด 2 ช่องโดยปลายด้านหนึ่งเป็นปากและปลายอีกด้านหนึ่งเป็นทวารหนัก

7. มนุษย์มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ ประกอบด้วย ปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ทวารหนัก และมีอวัยวะที่เกี่ยวข้องคือ ต่อมน้ำลาย ตับ และตับอ่อน ซึ่งทำหน้าที่ร่วมกันในการกิน การย่อย การดูดซึม และการถ่ายอุจจาระ

8. การย่อยอาหารของมนุษย์มีการย่อยเชิงกลโดยการบดเคี้ยวอาหารให้มีขนาดเล็กลง และการย่อยทางเคมีโดยอาศัยเอนไซม์ ทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กจนเซลล์สามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้

9. ในปากมีต่อมน้ำลายทำหน้าที่ผลิตน้ำลายซึ่งมีอะไมเลสทำหน้าที่ย่อยแป้งและไกลโคเจนให้มีโมเลกุลเล็กลง

10. ในกระเพาะอาหาร ประกอบด้วยเซลล์ที่สำคัญหลายชนิด โดยเมื่อมีการกระตุ้นจะมีการหลั่งกรดไฮโดรคลอริก กรดไฮโดรคลอริกจะเปลี่ยนเพปซิโนเจนซึ่งยังไม่สามารถทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ให้เป็นเพปซิน เพื่อย่อยโปรตีนได้เป็นพอลิเพปไทด์สายสั้นลง

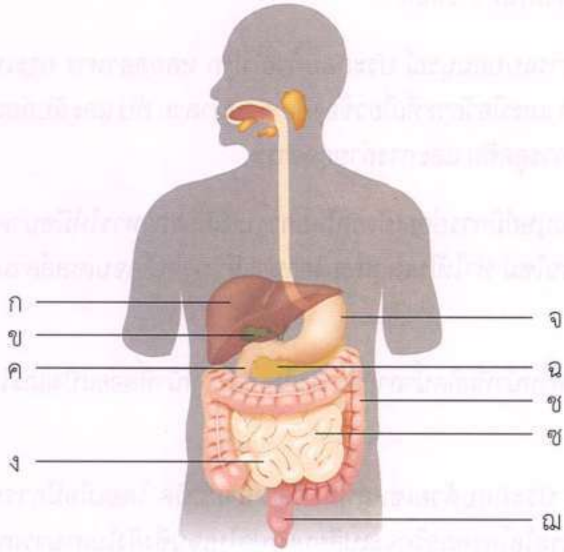
11. การย่อยอาหารในลำไส้เล็กเกี่ยวข้องกับการทำงานของตับ ตับอ่อน และเซลล์บุผิวที่ผนังลำไส้เล็กซึ่งหลั่งสารหลายชนิดออกมาทำงานร่วมกัน โดยดูโอดินัมจะสร้างฮอร์โมนไปกระตุ้นตับอ่อนให้สร้างและหลั่งโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งเป็นเบสออกมาสู่ดูโอดินัม เพื่อลดความเป็นกรดของอาหารภายในดูโอดินัมมีการย่อยอาหารหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และกรดนิวคลิอิก

12. มอโนแซ็กคาไรด์ กรดแอมิโน รวมทั้งวิตามินบางชนิด และธาตุอาหารจะถูกดูดซึมที่วิลลัสเข้าสู่หลอดเลือดฝอย ส่วนกรดไขมัน กลีเซอรอล และวิตามินที่ละลายในลิพิดจะถูกดูดซึมเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองฝอย

13. ผนังลำไส้ใหญ่จะดูดซึมน้ำ ธาตุอาหาร และวิตามินบางชนิดได้บางส่วนโดยส่วนที่เหลือจะถูกกำจัดออกจากร่างกายไปพร้อมกับกากอาหารทางทวารหนัก

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 13

1. จงนำตัวอักษรที่แสดงอวัยวะต่าง ๆ ของระบบย่อยอาหารของมนุษย์ เติมลงในช่องว่างหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน อาจตอบได้มากกว่าหนึ่งคำตอบ



.......1.1 มีเซลล์สร้างเมือก กรดไฮโดรคลอริก และเพปซิโนเจน

.......1.2 เป็นส่วนของทางเดินอาหารที่มีท่อเปิดจากตับอ่อนและท่อน้ำดี

.......1.3 เป็นบริเวณที่ส่วนใหญ่ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำ วิตามิน และธาตุอาหาร

.......1.4 สร้างสารที่ทำให้ลิพิดแตกตัวเป็นหยดเล็ก ๆ

.......1.5 สร้างเอนไซม์ย่อยอาหารทุกประเภทและสร้างสารที่มีฤทธิ์เป็นเบส

2. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......2.1 ไฮดราปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารภายในช่องภายในลำตัว และมีการย่อยอาหารภายในเซลล์ด้วย

....

.......2.2 หน้าที่อย่างหนึ่งของเอนไซม์ที่สร้างจากเซลล์บุผิวของดูโอดินัม คือการเปลี่ยนเอนไซม์บางชนิดจากตับอ่อนที่ยังไม่พร้อมที่จะทำงานให้เป็นเอนไซม์ที่พร้อมจะทำงาน

....

.......2.3 อาหารประเภทลิพิดเมื่อย่อยแล้ว จะลำเลียงเข้าหลอดเลือดฝอยภายในวิลลัสของลำไส้เล็ก

....

.......2.4 ลำไส้ใหญ่มีหน้าที่ดูดซึมน้ำ วิตามิน ธาตุอาหาร และหลั่งเมือก เพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของกากอาหาร

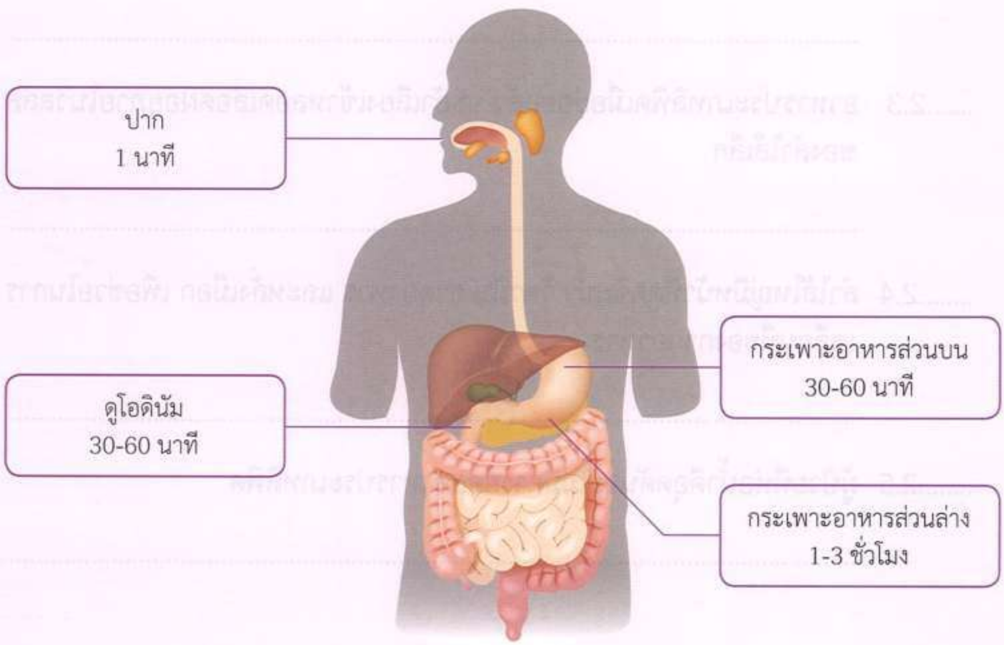
....

.......2.5 ผู้ป่วยที่ท่อน้ำดีอุดตันจะไม่มีการย่อยอาหารประเภทลิพิด

....

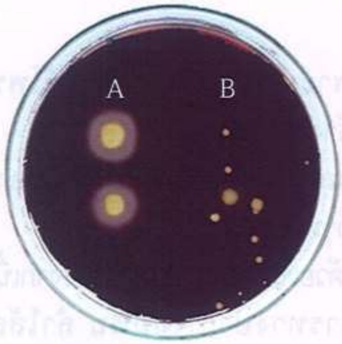
3. การหลั่งโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งเป็นเบสจากตับอ่อนมีประโยชน์ต่อการย่อยอาหารอย่างไร

4. นักเรียนคนหนึ่งดูละครเกี่ยวกับคดีฆาตกรรม เรื่องมีอยู่ว่า นาย ก. หายออกจากบ้านไปตอนหลังอาหารกลางวันของวันที่ 1 จนกระทั่งเช้าวันที่ 3 มีผู้พบศพในห้องเย็นสำหรับแช่ปลา ซึ่งถ้าดูจากสภาพการเปลี่ยนแปลงของศพไม่สามารถบอกได้ว่าเสียชีวิตเมื่อใด เนื่องจากศพอยู่ในห้องเย็นจึงดูจากการแข็งตัวของกล้ามเนื้อและการลดลงของอุณหภูมิร่างกายไม่ได้ แต่การผ่าศพพบว่าอาหารส่วนใหญ่อยู่ในกระเพาะอาหาร มีเส้นก๋วยเตี๋ยว ชิ้นผัก และชิ้นเนื้ออีกหลายชิ้น รวมปริมาณอาหารประมาณครึ่งกระเพาะอาหาร และภรรยาของนาย ก. แจ้งว่า นาย ก. รับประทานอาหารกลางวันเป็นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เสร็จเมื่อเวลาประมาณ 12.00 น. นักสืบจึงสันนิษฐานว่า นาย ก. เสียชีวิตเมื่อเวลาประมาณ 24.00 น. ของวันที่หายตัวไป นักเรียนเห็นด้วยกับนักสืบในละครหรือไม่ เพราะเหตุใด



รูปแสดงระยะเวลาที่อาหารอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของทางเดินอาหาร

5. จากการทดลองเพื่อศึกษาการย่อยแป้งด้วยอะไมเลสที่แบคทีเรียสร้างขึ้นโดยเลี้ยงแบคทีเรีย A และ B บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแป้ง (starch agar) เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นเทสารละลายไอโอดีนลงไปบนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าบริเวณรอบ ๆ ที่แบคทีเรีย A เจริญ ไม่มีการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ ในขณะที่บริเวณรอบ ๆ ที่แบคทีเรีย B เจริญมีการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังรูป



5.1 แบคทีเรียชนิดใดสามารถสร้างอะไมเลสได้ ทราบได้อย่างไร

5.2 เมื่อนำแบคทีเรีย A ไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีแป้งเป็นเวลา 3 วัน แยกเซลล์แบคทีเรียออกมาแล้วทำให้เซลล์แตก และนำส่วนที่สกัดจากเซลล์ไปทดสอบการย่อยแป้งของอะไมเลส พบว่าสารสกัดที่ได้จากแบคทีเรีย A สามารถย่อยแป้งได้เล็กน้อย เพราะเหตุใด

6. เติมเครื่องหมาย √ ลงในตารางให้ตรงกับลักษณะทางเดินอาหารและการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตที่กำหนดให้

สิ่งมีชีวิต	ทางเดินอาหาร			การย่อยอาหาร	
	ไม่มีทางเดินอาหาร	ไม่สมบูรณ์	สมบูรณ์	ภายในเซลล์	ภายนอกเซลล์
อะมีบา					
พารามีเซียม					
ฟองน้ำ					
ไฮดรา					
พลานาเรีย					
ไส้เดือนดิน					

7. นำชื่อสิ่งมีชีวิตที่กำหนดให้เติมลงในช่องว่างหน้าข้อให้สัมพันธ์กับลักษณะของระบบย่อยอาหาร

ตั๊กแตน	พลานาเรีย	ไฮดรา
ไส้เดือนดิน	นก	ปลา

....................7.1 มีกระเพาะอาหารบริเวณอก ใช้โพรเวนทริคิวลัสช่วยบดอาหาร มีต่อมสร้างเอนไซม์

....................7.2 ไม่มีฟันและต่อมน้ำลาย ใช้กึ๋นช่วยบดอาหาร มีตับ ตับอ่อนสร้างเอนไซม์ ขับกากอาหารทางทวารหนัก

....................7.3 จับเหยื่อด้วยเข็มพิษ ปล่อยเอนไซม์จากเนื้อเยื่อชั้นในของช่องภายในลำตัว

....................7.4 กินอาหารทางปาก ไม่มีฟัน ลำไส้สร้างเอนไซม์มาย่อยอาหาร มีกระเพาะพักอาหาร

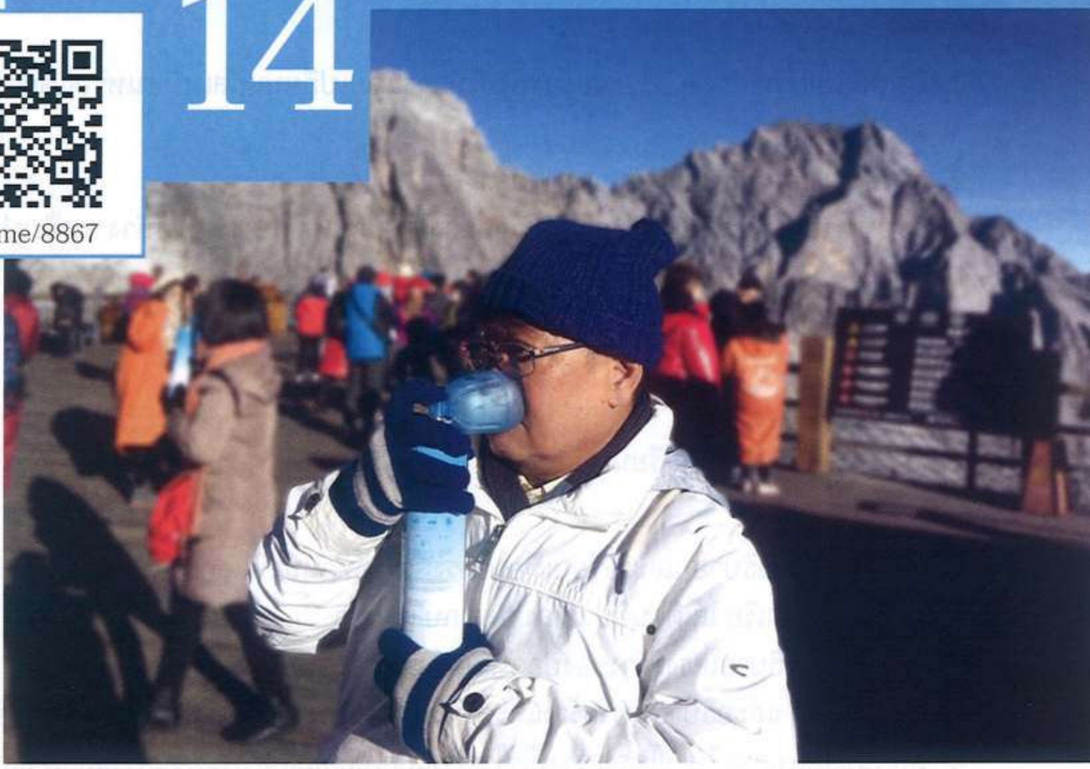
....................7.5 ส่วนใหญ่มีฟัน มีตับ ถุงน้ำดี และมีตับอ่อนสร้างเอนไซม์ ขับกากอาหารทางทวารหนัก

....................7.6 ปล่อยเอนไซม์จากทางเดินอาหารผ่านคอหอยมาย่อยอาหารภายนอกตัว และย่อยต่อในช่องภายในลำตัว ขับกากอาหารออกทางปาก

8. ถ้าตัดส่วนเทนทาเคิลของไฮดราออกจะส่งผลต่อกระบวนการย่อยอาหารหรือไม่ เพราะเหตุใด

บทที่ 14 | ระบบหายใจ

ipst.me/8867



เมื่อนักท่องเที่ยวเดินทางไปยังพื้นที่ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมาก ๆ เช่น บนภูเขาสูงมากกว่า 3,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลในสาธารณรัฐประชาชนจีน นักท่องเที่ยวอาจมีอาการวิงเวียน อ่อนเพลีย กล้ามเนื้ออ่อนล้า และหายใจลำบาก จึงใช้แก๊สออกซิเจนที่บรรจุในกระป๋องช่วยในการหายใจ เนื่องจากในพื้นที่สูงมีความดันอากาศลดต่ำลง ร่างกายได้รับแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการสร้างพลังงานเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ รวมทั้งอาจส่งผลให้สมองขาดแก๊สออกซิเจนและไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ กรณีข้างต้นเป็นตัวอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่ามนุษย์จำเป็นต้องได้รับแก๊สออกซิเจนอย่างเพียงพอตลอดเวลา ร่างกายจึงมีกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สกับสิ่งแวดล้อมเพื่อนำแก๊สออกซิเจนไปยังเซลล์ **กระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. มนุษย์และสัตว์ต่าง ๆ มีโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

2. การแลกเปลี่ยนแก๊สมีกระบวนการอย่างไร

3. ระบบหายใจมีกลไกและความสำคัญอย่างไร จะดูแลรักษาเพื่อให้ทำงานเป็นปกติได้อย่างไร

จุดประสงค์การเรียนรู้

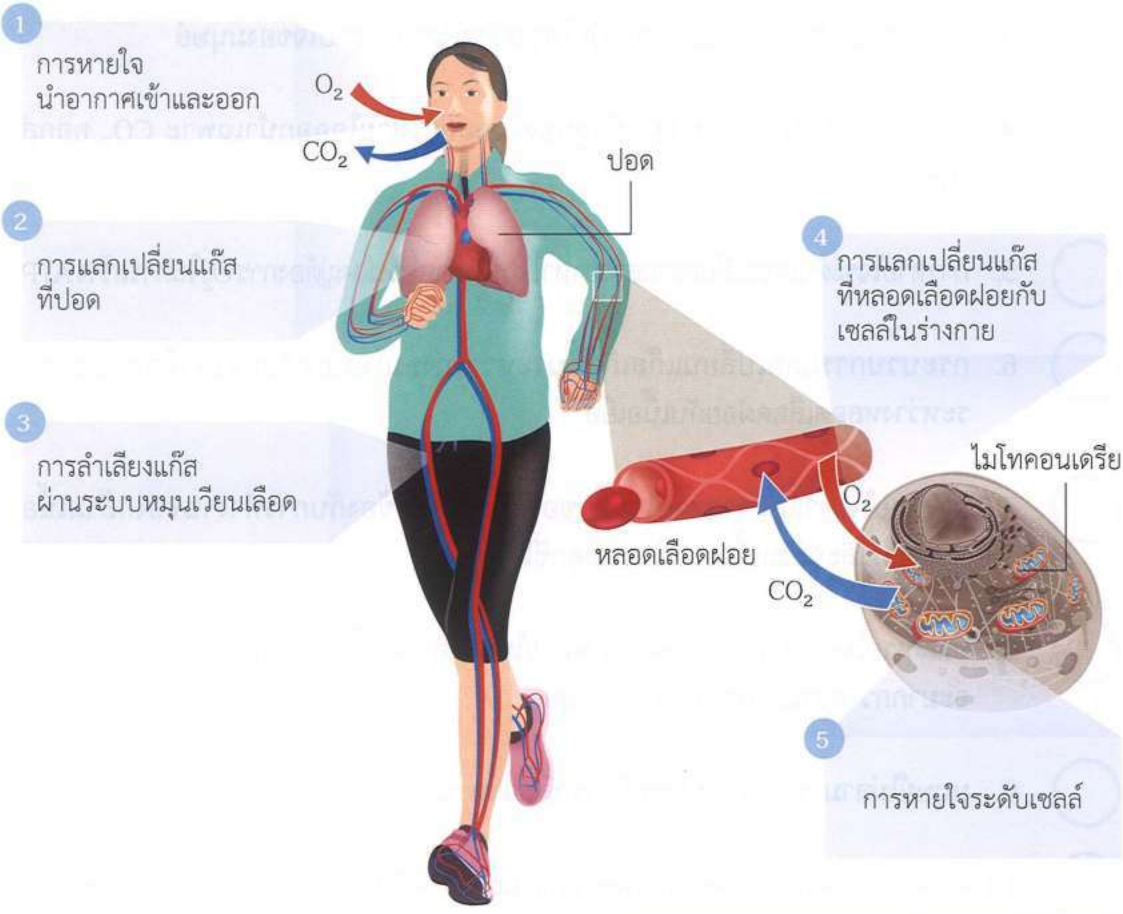
1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สของฟองน้ำ ไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน แมลง ปลา กบ และนก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปอดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม
3. สืบค้นข้อมูล และอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในทางเดินหายใจของมนุษย์
4. สืบค้นข้อมูล และอธิบายโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส กระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊ส และการลำเลียงแก๊สของมนุษย์
5. สังเกต และอธิบายการทำงานของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการหายใจเข้าและหายใจออก และทดลองวัดปริมาตรของอากาศในการหายใจออกของมนุษย์
6. สืบค้นข้อมูล และอธิบายการควบคุมการหายใจของมนุษย์และการรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในเลือด
7. สืบค้นข้อมูล และนำเสนอสาเหตุ อาการ แนวทางการป้องกันโรคที่เกิดจากความผิดปกติของระบบหายใจ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. ในบรรยากาศมีปริมาณแก๊สต่าง ๆ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ O_2 CO_2 และ N_2
2. CO_2 แพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง
3. จมูก ท่อลม หลอดลม และปอด เป็นโครงสร้างในระบบหายใจของมนุษย์
4. การหายใจเข้านำเฉพาะ O_2 เข้าสู่ปอด และการหายใจออกนำเฉพาะ CO_2 ออกสู่บรรยากาศ
5. การหายใจระดับเซลล์เพื่อสลายสารอาหารในร่างกาย ส่วนใหญ่ต้องการ O_2 ในการสร้าง ATP
6. กระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นระหว่างถุงลมในปอดกับหลอดเลือดฝอยและระหว่างหลอดเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อ
7. การหายใจเข้าและการหายใจออกของมนุษย์เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครง
8. ขณะหายใจออกปริมาตรของอากาศภายในช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันของอากาศในปอดจะมากกว่าความดันของอากาศภายนอก
9. มนุษย์ไม่สามารถหายใจขณะที่มีการกลืนอาหารได้
10. ความจุอากาศของปอดแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น เพศ อายุ ขนาดของร่างกาย และการออกกำลังกาย

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการพลังงานสำหรับนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ พลังงานเหล่านี้ได้มาจากการสลายสารอาหารโดย**กระบวนการหายใจระดับเซลล์** (cellular respiration) ที่สร้างสารพลังงานสูง เช่น ATP ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรีย โดยกระบวนการดังกล่าวจะมีการใช้แก๊สออกซิเจน (O_2) และมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดขึ้น ซึ่งต้องกำจัดออกจากร่างกาย ทั้งนี้หากร่างกายได้รับ O_2 ไม่เพียงพอ เซลล์จะมีพลังงานไม่เพียงพอในการทำกิจกรรมต่าง ๆ มนุษย์จึงต้องมี**การแลกเปลี่ยนแก๊ส** (gas exchange) เพื่อนำ O_2 จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกาย และกำจัด CO_2 ออกสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทาง**ระบบหายใจ** (respiratory system) โดยทำงานร่วมกับระบบหมุนเวียนเลือดในการลำเลียงแก๊สไปยังเซลล์ต่าง ๆ ดังรูป 14.1

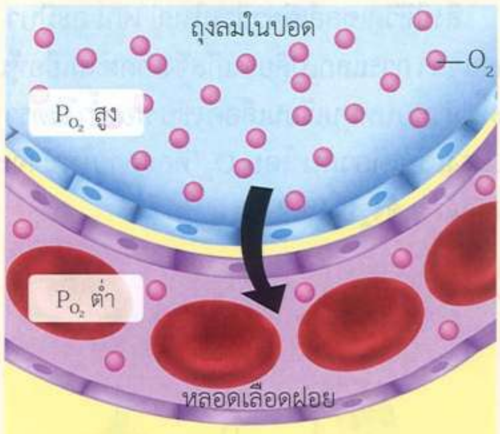


รูป 14.1 การหายใจและการแลกเปลี่ยนแก๊ส

การเชื่อมโยงความรู้

ในการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อม จะมีการเคลื่อนที่ของ O_2 และ CO_2 เข้าและออกจากเซลล์ได้โดยการแพร่

ในอากาศมีแก๊สหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) O_2 และ CO_2 ซึ่งแก๊สแต่ละชนิดจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันย่อยของแก๊สนั้นสูงไปยังบริเวณที่มีความดันย่อยต่ำ ดังรูปการแพร่ของ O_2 ในถุงลมในปอด



ความดันย่อย (partial pressure) เป็นความดันของแก๊สชนิดหนึ่งภายในปริมาตรที่กำหนด คำนวณได้จากผลคูณของความดันรวมและสัดส่วนของแก๊สนั้น

แก๊ส	สัดส่วนโดยปริมาตร (%)
O_2	21
CO_2	0.04
N_2	78
อื่น ๆ	≈ 1

ตัวอย่างเช่น จากตารางแสดงสัดส่วนของแก๊สแต่ละชนิดในบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล ความดันรวมของแก๊สในบรรยากาศเป็น 760 mmHg และมี O_2 เป็น 21% ดังนั้นความดันย่อยของ O_2 คือ

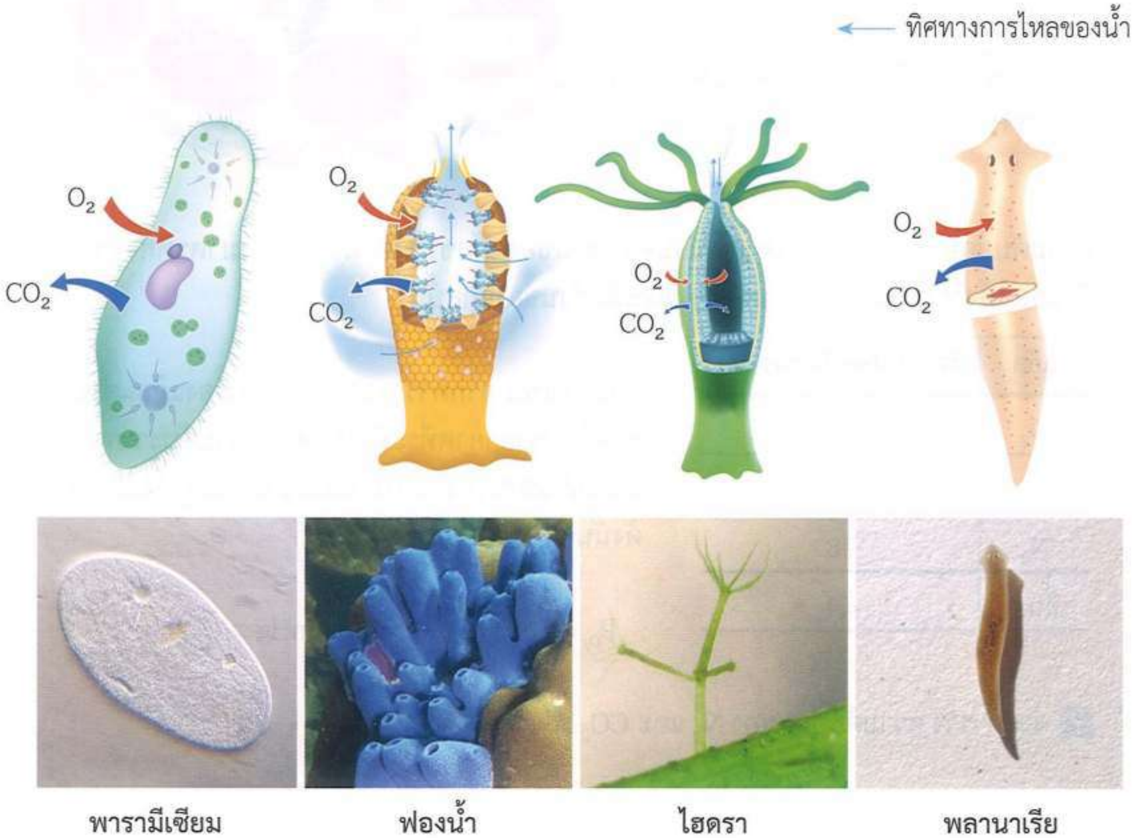
$$P_{O_2} = 760 \times \frac{21}{100} \approx 160 \text{ mmHg}$$

? จากตาราง ความดันย่อยของ N_2 และ CO_2 เป็นเท่าใด

มนุษย์มีระบบหายใจที่ทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ในร่างกายเพื่อทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส ซึ่งในสัตว์จำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนแก๊สเช่นเดียวกัน โดยสัตว์แต่ละกลุ่มมีโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโครงสร้างร่างกาย สภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ และปริมาณ O_2 ที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ **สัตว์ต่าง ๆ มีโครงสร้างในการแลกเปลี่ยนแก๊สและกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สอย่างไร**

14.1 การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวส่วนใหญ่ เช่น อะมีบา พารามีเซียม เซลล์จะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำตลอดเวลา การแลกเปลี่ยนแก๊สจึงเกิดผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยตรง สำหรับสัตว์ที่มีขนาดเล็ก อาศัยในน้ำ และไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด เช่น ฟองน้ำ ไฮดรา และพลานาเรีย มีการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยตรงเช่นเดียวกัน โดย O_2 ที่ละลายในน้ำจะแพร่เข้าสู่เซลล์และ CO_2 จากเซลล์จะแพร่ออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังรูป 14.2

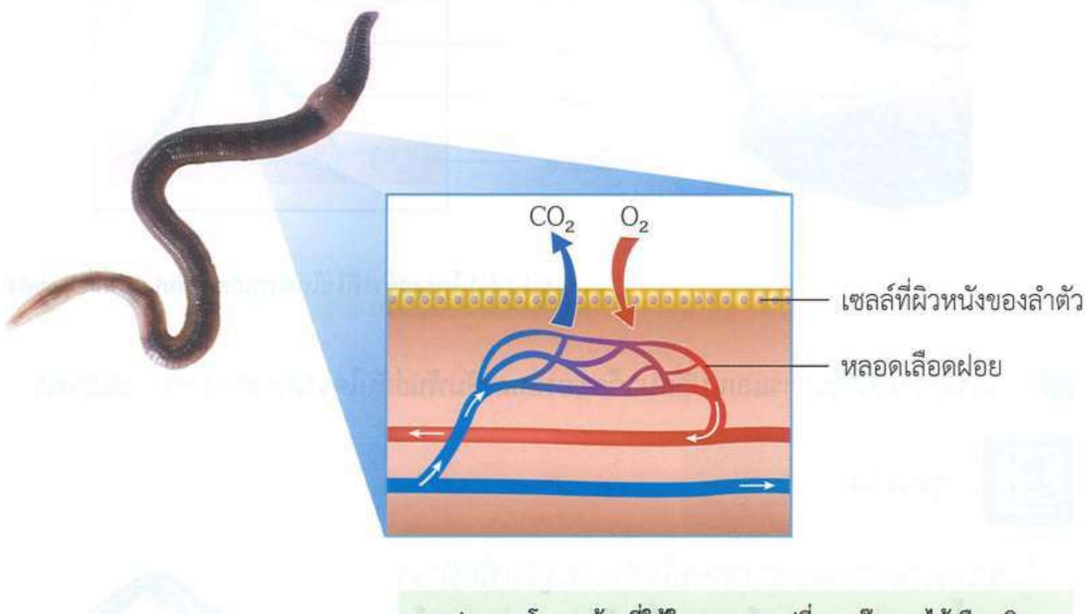


รูป 14.2 การแลกเปลี่ยนแก๊สของพารามีเซียม ฟองน้ำ ไฮดรา และพลานาเรีย

สัตว์ที่มีร่างกายขนาดใหญ่ มีระบบต่าง ๆ ซับซ้อน และมีความต้องการ O_2 ในปริมาณมากขึ้น เพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน แต่พื้นที่ผิวของร่างกายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สมีไม่เพียงพอ อีกทั้งเซลล์ที่อยู่ภายในร่างกายไม่มีโอกาสสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง สัตว์เหล่านี้จึงต้องมีโครงสร้างเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนแก๊สให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินมีโครงสร้างซับซ้อนกว่าฟองน้ำ ไฮดรา และพลานาเรีย ไส้เดือนดินอาศัยอยู่ในดินที่ชื้นซึ่งมี O_2 ละลายอยู่ในน้ำ การแลกเปลี่ยนแก๊สของไส้เดือนดินเกิดบริเวณเซลล์ที่ผิวหนังของลำตัว ซึ่งบางและเปียกชื้น โดย O_2 ที่แพร่ผ่านผิวหนังจะลำเลียงผ่านทางระบบหมุนเวียนเลือดใต้ผิวหนังไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ขณะเดียวกัน CO_2 จากเซลล์จะลำเลียงผ่านทางระบบหมุนเวียนเลือดและแพร่ออกนอกร่างกายทางผิวหนัง ดังรูป 14.3

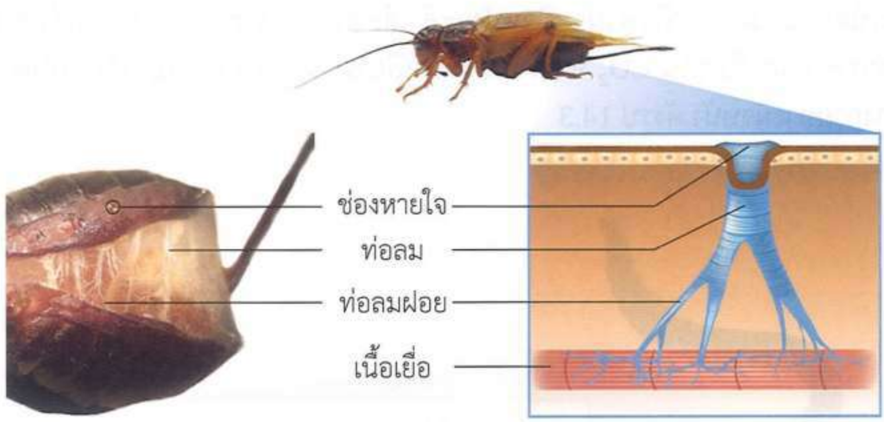


รูป 14.3 โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของไส้เดือนดิน

? การแลกเปลี่ยนแก๊สของฟองน้ำ ไฮดรา พลานาเรีย และไส้เดือนดินเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

แมลง

แมลงใช้**ระบบท่อลม** (tracheal system) ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส โดยอากาศจะผ่าน**ช่องหายใจ** (spiracle) ที่เป็นรูเล็ก ๆ อยู่ด้านข้างลำตัวเข้าสู่**ท่อลม** (trachea) ซึ่งท่อลมแตกแขนงเป็นท่อขนาดเล็กและมีผนังบางมากเรียก**ท่อลมฝอย** (tracheole) แทรกไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดย O_2 และ CO_2 จะแพร่ระหว่างปลายท่อลมฝอยกับเซลล์ได้โดยตรง ไม่ต้องลำเลียงผ่านทางระบบหมุนเวียนเลือด ดังรูป 14.4 ในขณะที่บินแมลงใช้พลังงานสูงในการทำกิจกรรม แมลงที่บินได้บางชนิดจึงมี**ถุงลม** (air sac) จำนวนมากซึ่งต่อกับช่องหายใจในส่วนท้อง เพื่อสำรองอากาศไว้ใช้ในขณะบิน



รูป 14.4 โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของแมลง

? โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของแมลงสัมพันธ์กับโครงสร้างของร่างกายอย่างไร

รู้หรือไม่

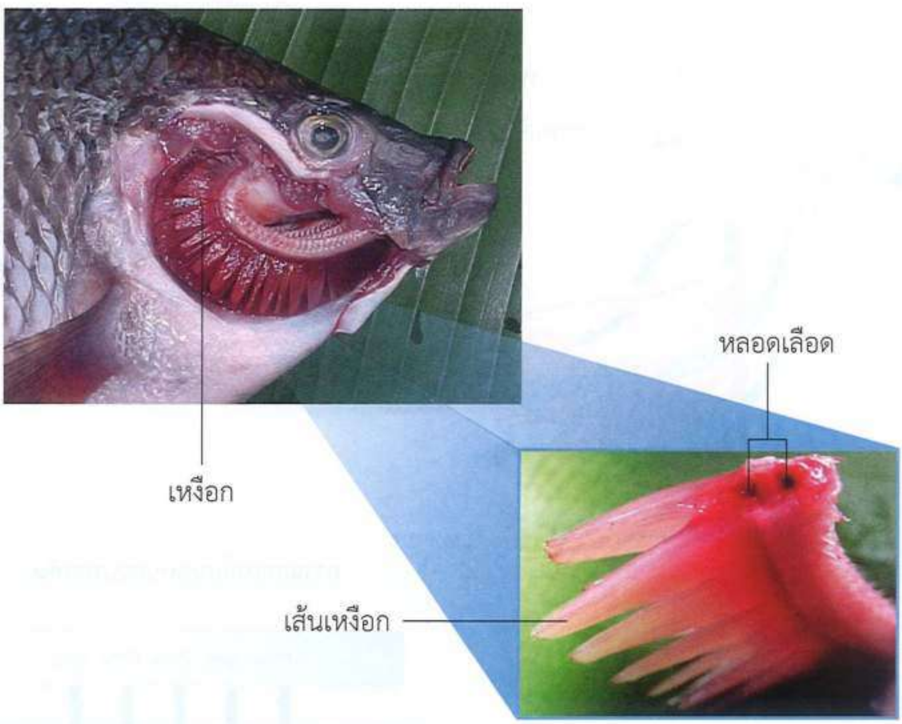
ในขณะพักแมลงจะปิดช่องหายใจส่วนใหญ่ไว้เพื่อรักษาความชื้นของร่างกาย แต่ในขณะที่ทำกิจกรรมช่องหายใจทั้งหมดจะเปิด ในแมลงขนาดเล็กอากาศที่แพร่เข้าทางช่องหายใจเพียงพอสำหรับการหายใจระดับเซลล์ ส่วนแมลงขนาดใหญ่สามารถนำอากาศเข้าและออกจากท่อลมและช่องหายใจได้โดยอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อบีบและขยายท่อลมเป็นจังหวะ



ช่องหายใจของจิ้งหรีด

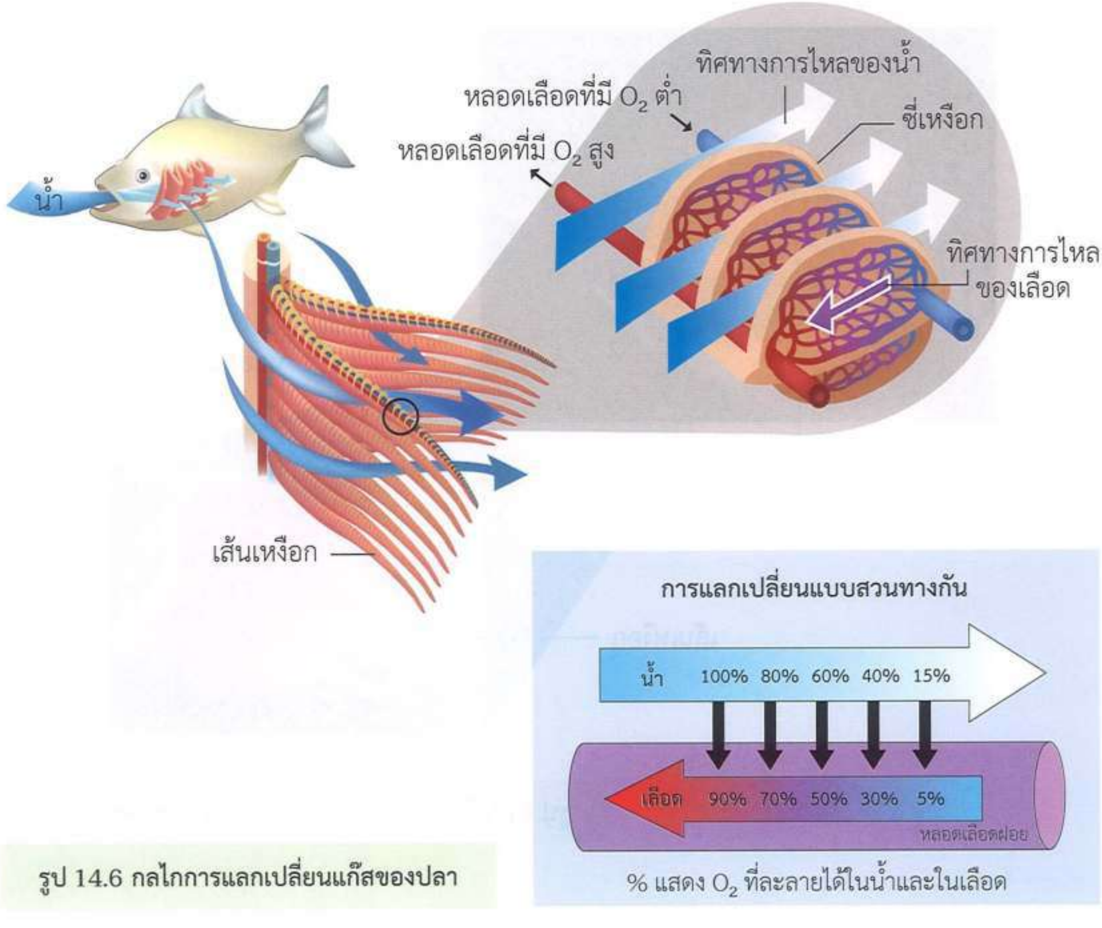
ปลา

ปลา กุ้ง และหอย อาศัยอยู่ในน้ำ มีการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยใช้ O_2 ในน้ำ ซึ่ง O_2 ละลายในน้ำได้น้อยกว่าในอากาศ ในน้ำจึงมี O_2 น้อยกว่าในอากาศประมาณ 30 เท่า นอกจากนี้ O_2 ยังแพร่ในน้ำได้ช้ากว่าในอากาศ ดังนั้นโครงสร้างในการแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำจึงมีวิวัฒนาการให้สามารถรับ O_2 ได้เพียงพอ โดยส่วนใหญ่ใช้**เหงือก** (gill) ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส ดังรูป 14.5 ปลามีเหงือกที่มีเส้นเหงือกมีลักษณะเป็นซี่ ๆ เรียงกันเป็นแผง ดังรูป 14.6 ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊ส โดยแต่ละซี่เหงือกประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวเป็นชั้นบาง ๆ ห่อหุ้มหลอดเลือดฝอย ทำให้แก๊สแพร่ผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูป 14.5 โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของปลา

ถ้าสังเกตการเปิดปิดปากและแผ่นแก้มปิดเหงือกของปลา จะพบว่ามีการเคลื่อนไหวของแผ่นแก้มเป็นจังหวะสอดคล้องกับการอ้าปากและหุบปาก ทำให้มีการไหลเวียนของน้ำที่มี O_2 ละลายอยู่ผ่านเหงือกตลอดเวลา โดยทิศทางการไหลของเลือดในซี่เหงือกจะสวนทางกับทิศทางการไหลของน้ำที่ผ่านเหงือก ทำให้เกิด**การแลกเปลี่ยนแบบสวนทางกัน** (countercurrent exchange) ของแก๊ส โดยน้ำที่ไหลผ่านเหงือกจะมีความดันย่อยของ O_2 สูงกว่าในหลอดเลือดฝอย ทำให้ O_2 จากน้ำสามารถแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยได้ตลอด เหงือกปลาจึงนำ O_2 ที่ละลายในน้ำเข้าสู่หลอดเลือดฝอยได้มากกว่า 80% ของ O_2 ที่ละลายในน้ำ ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อ O_2 แพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยที่เหงือกแล้วจะลำเลียงไปตามระบบหมุนเวียนเลือดต่อไป ดังรูป 14.6



รูป 14.6 กลไกการแลกเปลี่ยนแก๊สของปลา

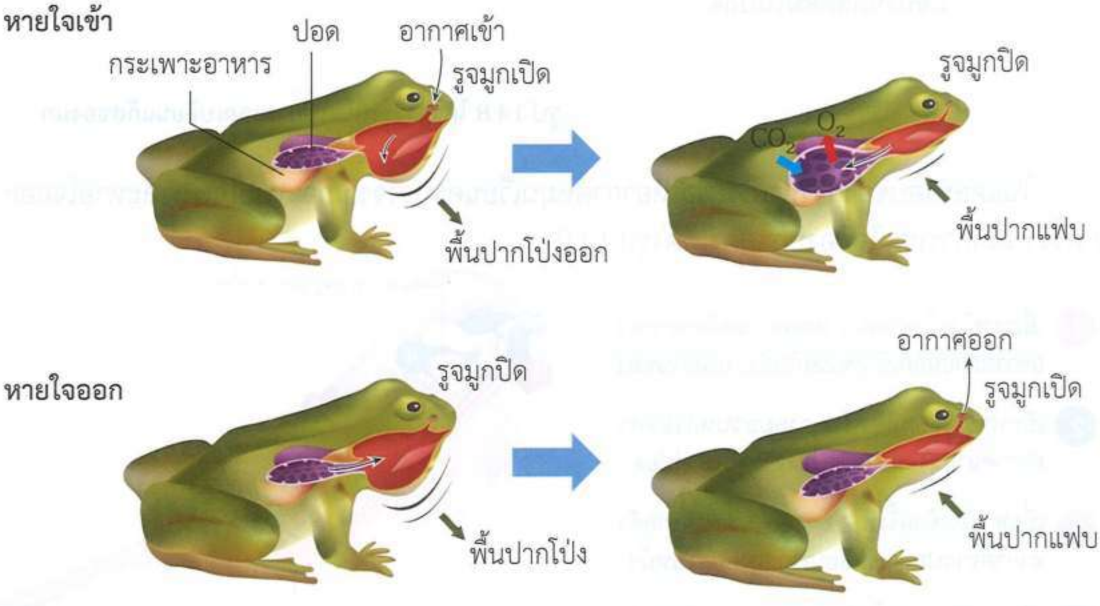
? โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของปลามีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตอย่างไร

? ถ้าการไหลของน้ำและการไหลของเลือดในเหงือกมีทิศทางเดียวกัน การแลกเปลี่ยนแก๊ส O_2 จะแตกต่างจากการไหลที่มีทิศทางสวนทางกันอย่างไร

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก เช่น กบ ในระยะตัวอ่อนจะอาศัยในน้ำและใช้เหงือกเป็นอวัยวะในการแลกเปลี่ยนแก๊ส เมื่อเจริญเป็นตัวเต็มวัยจะอาศัยบนบกบริเวณใกล้แหล่งน้ำโดยใช้ทั้งผิวหนังและปอดในการแลกเปลี่ยนแก๊ส ผิวหนังของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีต่อมสร้างเมือกซึ่งช่วยให้ผิวหนังชุ่มชื้นตลอดเวลา แก๊สจะแพร่ผ่านผิวหนังได้โดยตรงแล้วแพร่สู่หลอดเลือดฝอยจำนวนมากใต้ผิวหนัง

ในการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยใช้ปอด กบจะมีการหายใจเข้าและการหายใจออก โดยการหายใจเข้าของกบเกิดจากการดึงของพื้นปากด้านล่างพร้อมกับการเปิดของรูจมูก ทำให้อากาศเคลื่อนเข้าสู่ช่องปาก จากนั้นพื้นปากด้านล่างจะหดตัวพร้อมกับรูจมูกปิด อากาศจากช่องปากจึงถูกดันเข้าสู่ปอดเพื่อแลกเปลี่ยนแก๊ส ส่วนการหายใจออกเกิดจากการที่กล้ามเนื้อท้องหดตัว พื้นปากด้านล่างถูกดึงลง อากาศจึงถูกขับออกจากปอดเข้าสู่ช่องปาก ช่องปากจึงโป่งออก จากนั้นพื้นปากด้านล่างยกตัวขึ้นพร้อมกับรูจมูกเปิด ขับอากาศในช่องปากออกทางรูจมูก ดังรูป 14.7 ทั้งนี้การหายใจของกบแตกต่างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมซึ่งอากาศจะไหลเข้าสู่ปอดเนื่องจากความดันอากาศในช่องอกลดลง

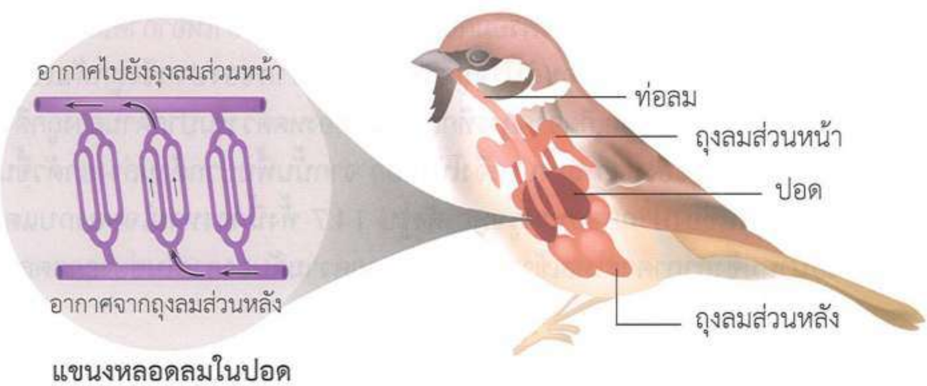


รูป 14.7 โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สและกลไกการหายใจของกบ

? โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของกบมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตอย่างไร

สัตว์ปีก

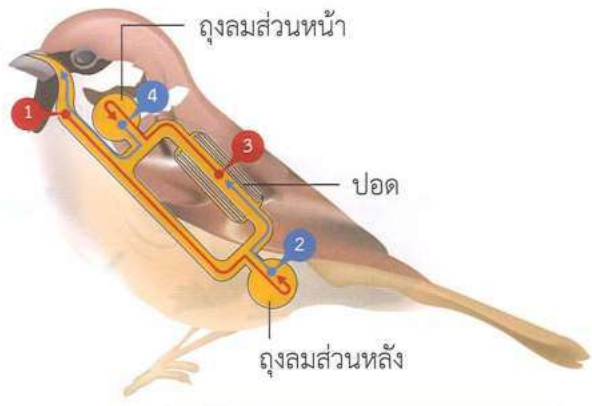
สัตว์ปีก เช่น นก มีระบบหายใจที่มีวิวัฒนาการให้สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดี เพื่อให้ได้ O_2 ปริมาณสูงไปใช้ในการสลายสารอาหารเนื่องจากสัตว์ปีกต้องการพลังงานมากในการบิน ปอดของนกเชื่อมต่อกับ**ถุงลม** (air sac) เพื่อสำรองอากาศไว้ใช้ การหายใจของนกแตกต่างจากสัตว์บกอื่น ๆ โดยอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สในปอดที่เรียกว่า**แขนงหลอดลม** (parabronchi) ในทิศทางเดียว โดยไม่มีอากาศที่ผ่านการแลกเปลี่ยนแก๊สแล้วมาผสม ดังรูป 14.8



รูป 14.8 โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของนก

ในแต่ละรอบของการหายใจเพื่อให้อากาศหมุนเวียนครบวงจร นกจะหายใจเข้าและหายใจออก 2 ครั้ง กลไกการหายใจของนกแสดงได้ดังรูป 14.9

1. เมื่อหายใจเข้าครั้งที่ 1 ถุงลมส่วนหลังขยายตัว อากาศภายนอกเข้าสู่ท่อลมไปยังถุงลมส่วนหลัง
2. เมื่อหายใจออกครั้งที่ 1 ถุงลมส่วนหลังหดตัว อากาศจากถุงลมส่วนหลังจะเคลื่อนเข้าสู่ปอด
3. เมื่อหายใจเข้าครั้งที่ 2 ถุงลมส่วนหน้าขยายตัว อากาศจากปอดจะเคลื่อนเข้าสู่ถุงลมส่วนหน้า
4. เมื่อหายใจออกครั้งที่ 2 ถุงลมส่วนหน้าหดตัว ขับอากาศออกสู่ภายนอกทางท่อลม



รูป 14.9 กลไกการหายใจของนก

? โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของนกมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตอย่างไร

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมรวมทั้งมนุษย์มีปอดเป็นอวัยวะที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สอยู่ภายในร่างกาย และมีระบบหมุนเวียนเลือดที่ช่วยในการลำเลียงแก๊ส เช่นเดียวกับสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์ปีก โดยสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมนำอากาศเข้าและออกผ่านทางท่อลม หลอดลม หลอดลมฝอย สู่ปอด ซึ่งจะได้ศึกษาโครงสร้างปอดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมจากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 14.1 โครงสร้างปอดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

ipst.me/9200

จุดประสงค์

1. สังเกตลักษณะภายนอกและภายในของปอด
2. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของปอดเมื่อมีการสูบลมเข้า
3. สังเกตและอธิบายลักษณะโครงสร้างของท่อลม หลอดลม และเนื้อเยื่อปอด

วัสดุและอุปกรณ์

1. ปอดหมูหรือปอดวัว (ที่มีท่อลมและกล่องเสียงติดอยู่)
2. น้ำ
3. เครื่องมือผ่าตัด
4. ถาดผ่าตัด
5. ถุงมือยาง
6. สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm และ 1 cm
7. ที่สูบลมหรือที่สูบลูกโป่ง
8. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL

ข้อควรระวัง

1. ระมัดระวังในการใช้เครื่องมือผ่าตัด
2. ห้ามใช้ปากเป่าลมเข้าสู่ปอดของสัตว์
3. สวมถุงมือยางระหว่างการทำกิจกรรม
4. หลังการทำกิจกรรมควรทำความสะอาดอุปกรณ์ และล้างมือให้สะอาด

วิธีการทำกิจกรรม

1. ล้างปอดให้สะอาด และสังเกตโครงสร้างภายนอกของปอด
2. สังเกตลักษณะกล่องเสียง ท่อลม และกระดูกอ่อนที่ประกอบกันเป็นท่อลม โดยเปรียบเทียบโครงสร้างกับรูป 14.10 จากนั้นใช้นิ้วมือบีบท่อลมแล้วปล่อย สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
3. กรีดท่อลมเป็นช่องและสอดสายยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm เข้าไปในท่อลม จากนั้นสูบลมเข้าโดยใช้ที่สูบลม สังเกตการเปลี่ยนแปลงของปอดและนำสายยางออกจากท่อลม
4. ใช้กรรไกรตัดท่อลมตามแนวยาวจนถึงหลอดลม แล้วสอดสายยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm เข้าที่หลอดลมด้านใดด้านหนึ่งของปอด จากนั้นสูบลมเข้าโดยใช้ที่สูบลม สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
5. ผ่าเนื้อปอดบริเวณหลอดลม เพื่อสังเกตการแตกแขนงของหลอดลม และการเรียงลำดับของทางเดินหายใจ
6. ตัดเนื้อปอดเป็นชิ้นขนาดเล็กใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
7. วาดรูปทางเดินหายใจและปอด พร้อมระบุโครงสร้างที่สังเกตได้จากการทำกิจกรรม

คำถามท้ายกิจกรรม

? ปอดมีสีอะไร เพราะเหตุใดจึงมีสีเช่นนั้น

? เนื้อปอดมีลักษณะอย่างไร

? ลักษณะรูปร่างและขนาดของปอดซ้ายและปอดขวามีความแตกต่างกันอย่างไร

? เมื่อใช้นิ้วมือบีบท่อลมแล้วปล่อย ท่อลมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

? ลักษณะของท่อลม การจัดเรียงตัวของกระดูกอ่อน รูปร่างของกระดูกอ่อนมีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่อย่างไร

? เมื่อสอดสายยางแล้วสูบลมเข้าที่หลอดลมด้านหนึ่งของปอด ปอดอีกข้างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

? เมื่อตัดเนื้อปอดเป็นชิ้นขนาดเล็กใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำจะเกิดอะไรขึ้น เพราะเหตุใด



โลมา

ชวนคิด

โลมาและวาฬใช้โครงสร้างอะไรในการแลกเปลี่ยนแก๊ส

จากการศึกษาโครงสร้างปอดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม จะสังเกตพบว่าเนื้อปอดมีลักษณะหยุ่น ท่อลมมีกระดูกอ่อนเรียงต่อกัน ปลายสุดของท่อลมจะแยกเป็นหลอดลมซึ่งจะแตกแขนงและมีขนาดเล็กลง เมื่อสูบลมเข้าสู่หลอดลมไปยังปอดจะเกิดแรงดันอากาศทำให้ปอดขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้น

จากตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ทั้งผิวหนังของไส้เดือนดิน ท่อลมของแมลง เหงือกของปลา และปอดของหมู จะเห็นได้ว่าสัตว์แต่ละกลุ่มมีโครงสร้างในการแลกเปลี่ยนแก๊สแตกต่างกันขึ้นกับโครงสร้างของร่างกาย สภาพแวดล้อมที่อาศัย ตลอดจนปริมาณ O_2 ที่ต้องการนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ **โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์ต่าง ๆ มีลักษณะสำคัญร่วมกันอย่างไรที่เหมาะสมต่อการแพร่และการลำเลียงแก๊ส**

ลักษณะของโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สต้องมีผนังบางและมีความชื้น โดยแก๊สจะแพร่ผ่านโครงสร้างที่มีผนังบางได้เร็วกว่าโครงสร้างที่มีผนังหนา และความชื้นจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์คงสภาพ รวมทั้ง O_2 ที่จะผ่านเข้าสู่เซลล์ต้องละลายน้ำก่อน สัตว์บกบางชนิดได้มีวิวัฒนาการของอวัยวะแลกเปลี่ยนแก๊สที่อยู่ภายในร่างกายเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนแก๊สขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส และมีระบบหมุนเวียนเลือดช่วยในการลำเลียงแก๊ส ซึ่งทำให้การแพร่ของแก๊สเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาเนื่องจากความดันย่อยของแก๊สในบริเวณนั้นมีความแตกต่างกัน

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ทากเปลือยที่อาศัยในน้ำและแพนด้าที่อาศัยบนบกมีโครงสร้างและกระบวนการในการแลกเปลี่ยนแก๊สเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



ทากเปลือย


แพนด้า

ระบบหายใจของมนุษย์ประกอบด้วยทางเดินหายใจและปอด รวมทั้งมีกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงทำงานร่วมกันในการหายใจเพื่อนำอากาศเข้าและออกจากร่างกาย การแลกเปลี่ยนแก๊สจะเกิดที่บริเวณถุงลมในปอดและที่เนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยมีระบบหมุนเวียนเลือดลำเลียงแก๊สไปยังบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย ในหัวข้อต่อไป จะได้ศึกษาเกี่ยวกับทางเดินหายใจ การแลกเปลี่ยนแก๊ส การลำเลียงแก๊ส กลไกการหายใจ และการควบคุมการหายใจของมนุษย์

14.2 อวัยวะและโครงสร้างในระบบหายใจของมนุษย์

อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ปอดและออกจากร่างกายผ่านทางเดินหายใจ โดยอากาศเข้าสู่ร่างกายทาง **รูจมูก** (nostril) แล้วเข้าสู่**โพรงจมูก** (nasal cavity) ซึ่งมีเยื่อบุผิวที่มีซิเลียและเมือกสำหรับดักจับสิ่งแปลกปลอม เช่น ฝุ่น เรณู ไม่ให้เข้าสู่ปอด จากนั้นอากาศจะเคลื่อนที่ไปยัง**คอหอย** (pharynx) **กล่องเสียง** (larynx) ซึ่งภายในมี**สายเสียง** (vocal cord) และเข้าสู่**ท่อลม** (trachea) ซึ่งมีเยื่อบุผิวที่มีซิเลียและเมือกเพื่อคอยดักจับสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่ถุงลม ท่อลมจะแตกแขนงเป็น**หลอดลม** (bronchi) ไปสู่ปอดทั้ง 2 ข้าง และหลอดลมแตกแขนงเป็น**หลอดลมฝอย** (bronchiole) ซึ่งจะแตกแขนงเล็กลงเรื่อย ๆ และมีผนังบางลงตามลำดับ ปลายสุดของหลอดลมฝอยเป็นถุงขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก เรียกว่า **ถุงลม** (alveolus) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊สในปอด ดังรูป 14.10

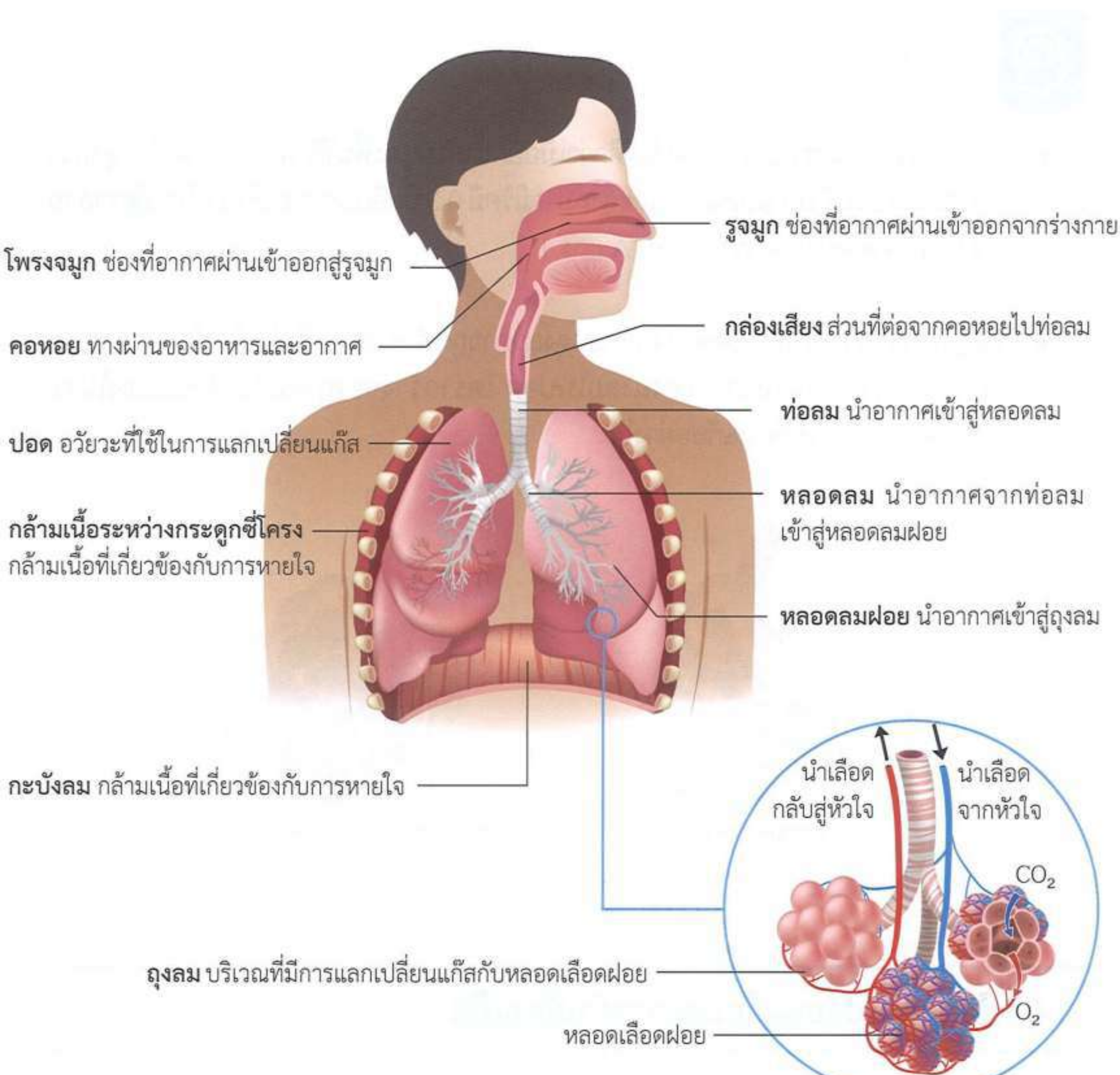
ถุงลมเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สที่มีผนังบางมาก มีความชื้นสูง และมีร่างแหของหลอดเลือดฝอยห่อหุ้มอยู่โดยรอบ ภายในปอดมีถุงลมประมาณ 300 ล้านถุง ถุงลมแต่ละถุงมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.25 มิลลิเมตร ทำให้พื้นที่ผิวโดยรวมของถุงลมในปอดมีปริมาณมาก ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นลักษณะสำคัญที่เหมาะกับการแลกเปลี่ยนแก๊ส

ความรู้เพิ่มเติม

ipst.me/9201

บริเวณคอหอยมีทั้งทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ ในขณะกลืนอาหาร ฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) จะปิดไม่ให้อาหารเข้าสู่ท่อลม ถ้ามีอาหารหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในท่อลม จะเกิดอาการสำลัก ถ้าสิ่งแปลกปลอมยังอยู่ในท่อลม จะทำให้หายใจไม่ออก และถ้าไม่สามารถไอเพื่อนำสิ่งแปลกปลอมออกมาเองได้แต่ยังรู้สึกตัวอยู่ ควรมีการปฐมพยาบาลเบื้องต้น เช่น วิธี Heimlich maneuver (ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก QR code)





รูป 14.10 อวัยวะและโครงสร้างที่เกี่ยวกับการหายใจและการแลกเปลี่ยนแก๊สของมนุษย์

? ถุงลมในปอดของมนุษย์เหมือนหรือแตกต่างจากถุงลมของนกอย่างไร

? โครงสร้างของถุงลมและหลอดเลือดฝอยมีลักษณะเหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนแก๊สอย่างไร

? เมื่อมีมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้าสู่ทางเดินหายใจ จะส่งผลต่อทางเดินหายใจอย่างไร และร่างกายมีกระบวนการป้องกันอย่างไร

ชวนคิด

- สารจะแพร่เข้าและออกจากเซลล์ได้ดีกว่าเมื่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าสูงกว่า ถ้าถุงลม A มีรัศมี 0.1 มิลลิเมตร และถุงลม B มีรัศมี 0.3 มิลลิเมตร จงเปรียบเทียบอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของถุงลม A และ B

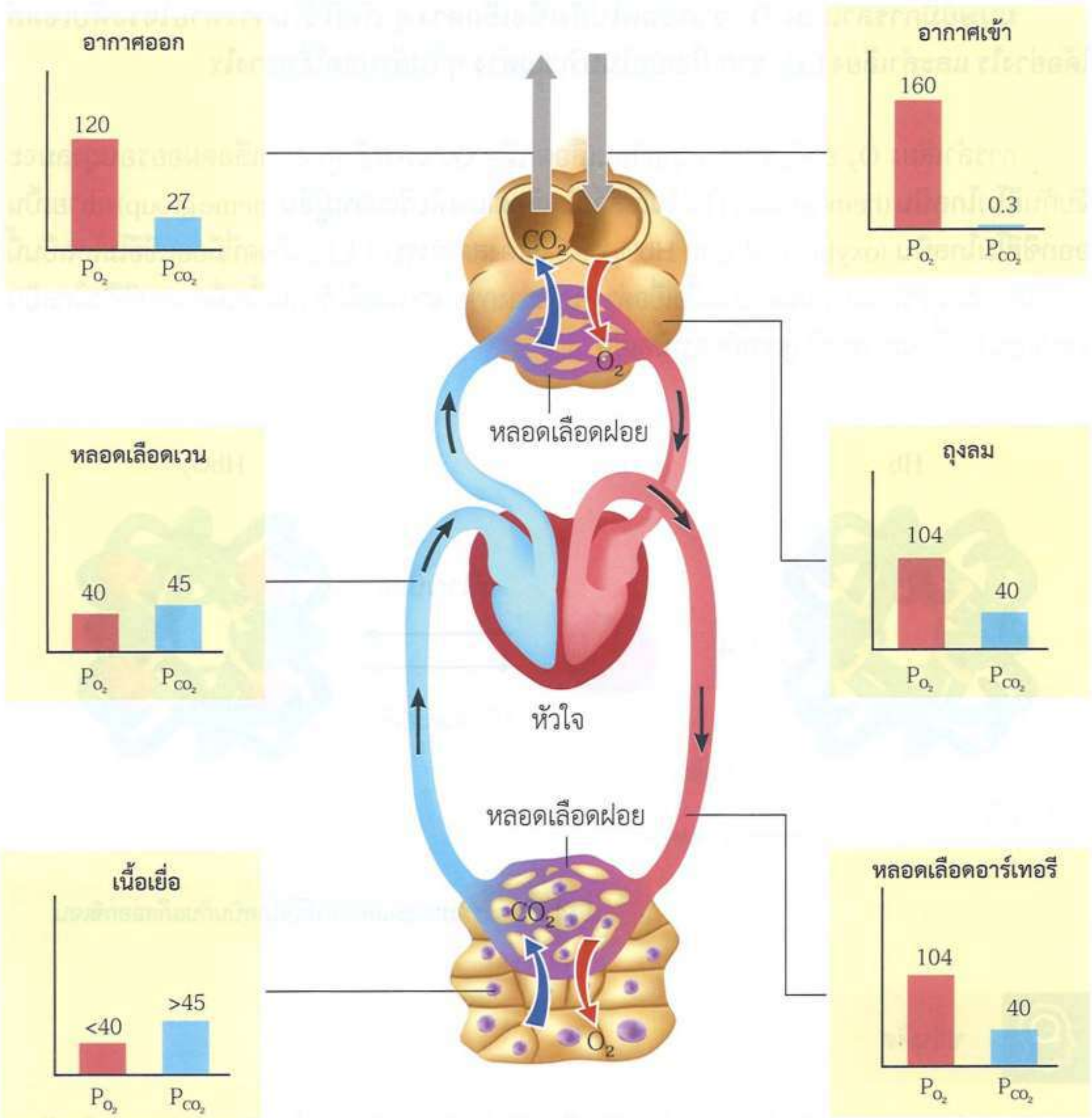
- ในผู้ป่วยที่เป็นโรคถุงลมโป่งพอง ผนังของถุงลมอาจถูกทำลายทะลุถึงกันเกิดเป็นถุงลมขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปตัดตามขวางของถุงลมในปอด โครงสร้างของถุงลมที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สอย่างไร


ถุงลมของคนปกติ


ถุงลมของคนที่เป็นโรคถุงลมโป่งพอง

14.3 การแลกเปลี่ยนแก๊สและการลำเลียงแก๊ส

การแลกเปลี่ยนแก๊สของมนุษย์เกิดขึ้นบริเวณปอดระหว่างถุงลมกับหลอดเลือดฝอย และบริเวณเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ กับหลอดเลือดฝอย โดยอากาศที่หายใจเข้ามีความดันย่อยของ O_2 ประมาณ 160 mmHg ซึ่ง O_2 จากถุงลมจะแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยรอบ ๆ ถุงลม ทำให้เลือดมีความดันย่อยของ O_2 เพิ่มขึ้นจาก 40 mmHg เป็น 104 mmHg ดังรูป 14.11 จากนั้น O_2 จะลำเลียงและแพร่จากหลอดเลือดฝอยเข้าสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย ส่วน CO_2 จะแพร่ในทิศทางตรงข้ามจากเนื้อเยื่อเข้าสู่หลอดเลือด เพื่อลำเลียงไปยังปอดและแพร่จากหลอดเลือดฝอยรอบถุงลมเข้าสู่ถุงลม



รูป 14.11 ความดันย่อยของ O_2 และ CO_2 ในบรรยากาศและในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

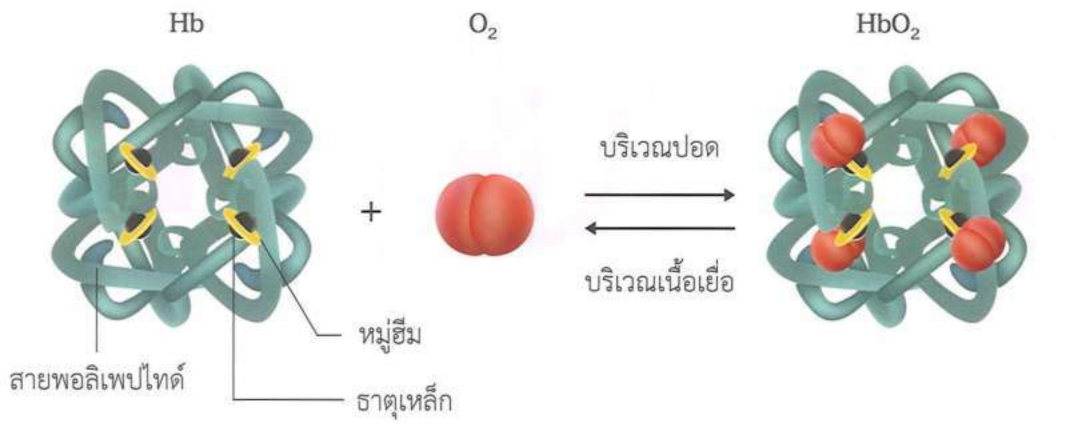
? บริเวณใดของร่างกายมีความดันย่อยของ O_2 สูงที่สุด และต่ำที่สุด เพราะเหตุใด

? บริเวณใดของร่างกายมีความดันย่อยของ CO_2 สูงที่สุด และต่ำที่สุด เพราะเหตุใด

? เซลล์ของเนื้อเยื่อปอดต้องการ O_2 หรือไม่ เพราะเหตุใด

มนุษย์มีการลำเลียง O_2 จากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ เพื่อใช้ในการหายใจระดับเซลล์ได้อย่างไร และลำเลียง CO_2 จากเนื้อเยื่อในบริเวณต่าง ๆ ไปยังปอดได้อย่างไร

การลำเลียง O_2 อาศัยระบบหมุนเวียนเลือด เมื่อ O_2 แพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยรอบถุงลมจะจับกับ**ฮีโมโกลบิน** (hemoglobin; Hb) ในเซลล์เม็ดเลือดแดงที่บริเวณ**หมู่ฮีม** (heme group) กลายเป็น **ออกซีฮีโมโกลบิน** (oxyhemoglobin; HbO_2) ซึ่งมีสีแดงสด ดังรูป 14.12 เลือดที่มีออกซีฮีโมโกลบินนี้จะลำเลียงเข้าสู่หัวใจและสูบฉีดไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย จากนั้นที่บริเวณเนื้อเยื่อ ออกซีฮีโมโกลบินจะปล่อย O_2 ซึ่งจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่อ



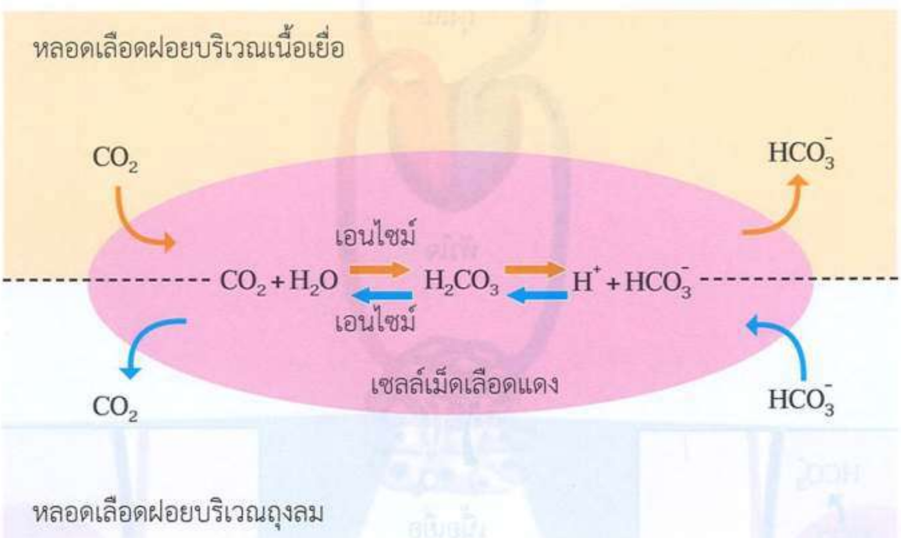
รูป 14.12 การรวมและแยกของฮีโมโกลบินกับแก๊สออกซิเจน

ชวนคิด

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น โดยทั่วไปเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งฮีโมโกลบินสามารถจับกับ CO ได้ดีกว่าจับกับ O_2 มากกว่า 210 เท่า เพราะเหตุใดการนอนหลับเป็นเวลานานในรถที่ติดเครื่องยนต์ และเปิดเครื่องปรับอากาศรวมทั้งปิดกระจก จึงอาจมีอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หรือถึงขั้นเสียชีวิตได้

ส่วน CO_2 ที่เกิดจากการหายใจระดับเซลล์จะแพร่ออกจากเซลล์บริเวณเนื้อเยื่อเข้าสู่หลอดเลือดฝอยเพื่อลำเลียงไปยังถุงลมในปอด โดย CO_2 ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดงเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) โดยมีเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (carbonic anhydrase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดคาร์บอนิกจะแตกตัวได้ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) แล้วไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนจะถูกลำเลียงเข้าสู่พลาสมาโดยวิธีการแพร่แบบฟาซิลิเทต จากนั้นเลือดจะลำเลียงไปยังหัวใจแล้วไปยังปอด

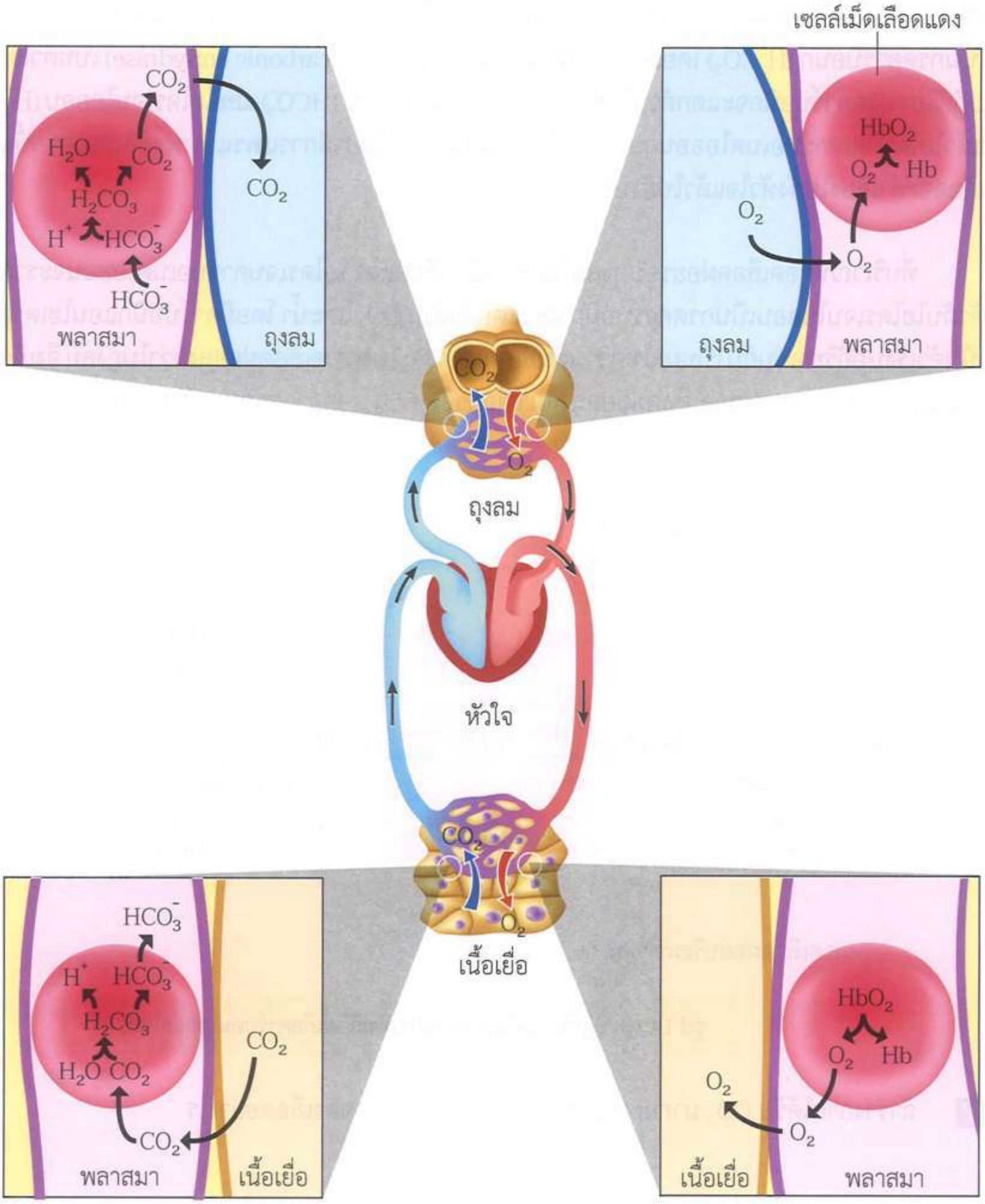
ที่บริเวณหลอดเลือดฝอยรอบถุงลม ในเซลล์เม็ดเลือดแดง ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนจะรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนเป็นกรดคาร์บอนิก แล้วแตกตัวเป็น CO_2 และน้ำ โดยมีคาร์บอนิกแอนไฮเดรสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นกัน เป็นผลให้ความดันย่อยของ CO_2 ในหลอดเลือดฝอยสูงกว่าในถุงลม จึงเกิดการแพร่ของ CO_2 จากหลอดเลือดฝอยสู่ถุงลม เพื่อกำจัด CO_2 ออกจากร่างกาย ดังรูป 14.13



รูป 14.13 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการลำเลียงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

? ถ้าร่างกายได้รับ CO_2 มากจะส่งผลต่อความเป็นกรด-เบสของเลือดอย่างไร

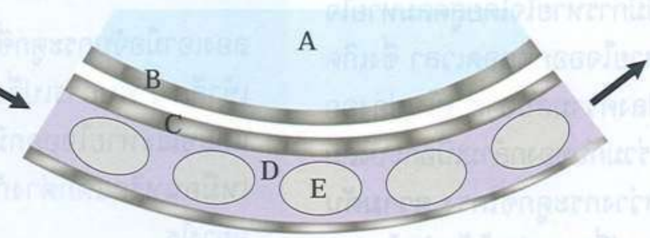
การแลกเปลี่ยนแก๊สและการลำเลียงแก๊ส O_2 และ CO_2 สรุปได้ดังรูป 14.14



รูป 14.14 การแลกเปลี่ยนแก๊สและการลำเลียงแก๊ส

ตรวจสอบความเข้าใจ

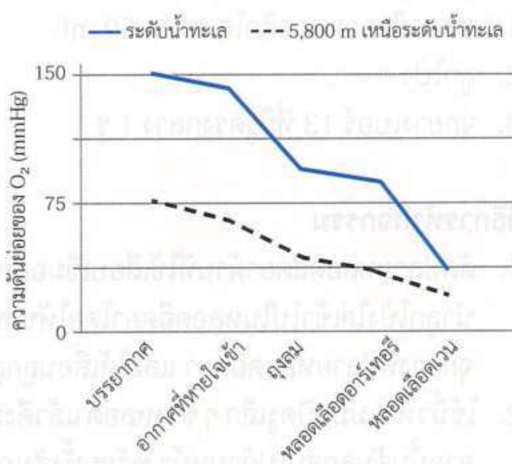
จากรูปหลอดเลือดฝอยที่ล้อมรอบถุงลมในปอดซึ่งมีทิศทางการไหลของเลือดตามลูกศร ตอบคำถามต่อไปนี้โดยใช้ตัวอักษร A-E สามารถตอบซ้ำกันได้



- ลำดับทิศทางการแพร่ของ O_2 เป็นอย่างไร
- บริเวณใดที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีผลต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สของ O_2
- ตำแหน่งใดที่มีออกซีฮีโมโกลบิน
- ที่ตำแหน่ง A และ D บริเวณใดมีความดันย่อยของ CO_2 สูงกว่า

ชวนคิด

เมื่อนักท่องเที่ยวปีนภูเขาที่ความสูงประมาณ 5,800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล อาจมีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน อ่อนเพลีย และหายใจลำบาก นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงได้จากในกราฟ



กราฟแสดงความดันย่อยของ O_2 เมื่อวัดในบรรยากาศและบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย ที่ความสูงระดับน้ำทะเลและที่ความสูง 5,800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล

ที่มา: Peacock, A. J. (1998). ABC of Oxygen: Oxygen at High Altitude. BMJ, 317 (7165), 1063-1066.

14.4 การหายใจ

14.4.1 กลไกการหายใจ

ในการรักษาดุลยภาพของ O_2 และ CO_2 ของร่างกาย มนุษย์มีการหายใจโดยสูดลมหายใจเข้าและปล่อยลมหายใจออกตลอดเวลา ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศในช่องอก โดยเป็นการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครง **ความดันอากาศภายในปอดเปลี่ยนแปลงได้อย่างไร**

ลองทำดู

ลองเอามือจับกระดูกซี่โครงขณะที่หายใจเข้าลึก ๆ พบการเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้น และขณะหายใจออกมีการเปลี่ยนแปลงเหมือนหรือแตกต่างกับขณะหายใจเข้าอย่างไร

กิจกรรม 14.2 การจำลองการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลม

จุดประสงค์

ทดลองและอธิบายการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลมในขณะหายใจเข้าและหายใจออก

วัสดุและอุปกรณ์

1. หลอดฉีดยาพลาสติกใส ขนาด 50 mL
2. ลูกโป่ง
3. จุกยางเบอร์ 13 ที่มีรูตรงกลาง 1 รู



อุปกรณ์จำลองการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลม

วิธีการทำกิจกรรม

1. ตัดปลายหลอดฉีดยาด้านที่ใช้เสียบเข็มออก และเจาะรูขนาดเล็ก ๆ ข้างหลอด จำนวน 1 รู นำลูกโป่งใส่เข้าไปในหลอดฉีดยาโดยให้ขอบปากลูกโป่งหุ้มที่ปลายหลอดฉีดยา จากนั้นใส่จุกยางที่ปลายหลอดฉีดยา และให้เลื่อนลูกสูบไปอยู่ตรงกลางของหลอด ดังรูป
2. ใช้นิ้วหัวแม่มือปิดรูเล็ก ๆ ข้างหลอด แล้วดึงลูกสูบกลับไปด้านท้าย สังเกตการเปลี่ยนแปลง จากนั้นดันลูกสูบไปด้านหน้า พร้อมทั้งสังเกตการเปลี่ยนแปลง
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2 โดยไม่ใช้นิ้วหัวแม่มือปิดรูเล็ก ๆ ที่ข้างหลอด สังเกตการเปลี่ยนแปลง

คำถามท้ายกิจกรรม

- ? ส่วนใดของชุดทดลองที่เปรียบได้กับปอดและกะบังลม
- ? การดันลูกสูบไปด้านหน้าเปรียบเทียบได้กับกระบวนการใดในการหายใจ
- ? ในการทดลองที่ใช้นิ้วหัวแม่มือปิดรู ความดันอากาศในหลอดฉีดยาและในลูกโป่งระหว่างดันลูกสูบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และระหว่างดึงลูกสูบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- ? ผลการทดลองที่ใช้นิ้วหัวแม่มือปิดรูและที่ไม่ปิดรูแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ? แบบจำลองการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลมนี้แตกต่างจากโครงสร้างในระบบหายใจของมนุษย์อย่างไร
- ? ถ้ามีผู้ได้รับบาดเจ็บและเยื่อหุ้มบริเวณปอดเป็นรูขนาดเล็ก จะส่งผลต่อการหายใจหรือไม่ อย่างไร

จากการทำกิจกรรม เมื่อปริมาตรอากาศภายในหลอดฉีดยาเปลี่ยนแปลงจากการดันหรือดึงลูกสูบ จะส่งผลให้ความดันอากาศภายในหลอดเปลี่ยนแปลง และทำให้อากาศจากภายนอกเคลื่อนที่เข้าหรืออากาศจากภายในเคลื่อนที่ออกจากลูกโป่งได้ ในทำนองเดียวกันการหายใจเข้าและการหายใจออกของมนุษย์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศภายในช่องอก โดยการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงบริเวณช่องอก ซึ่งกระดูกซี่โครงจะต่อกับกระดูกสันหลังและโค้งมายึดกับกระดูกอก โดยระหว่างกระดูกซี่โครงมีกล้ามเนื้อสองแถบเรียงซ้อนกันตามแนวเฉียงต่างกัน คือ กล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบนอกและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบใน

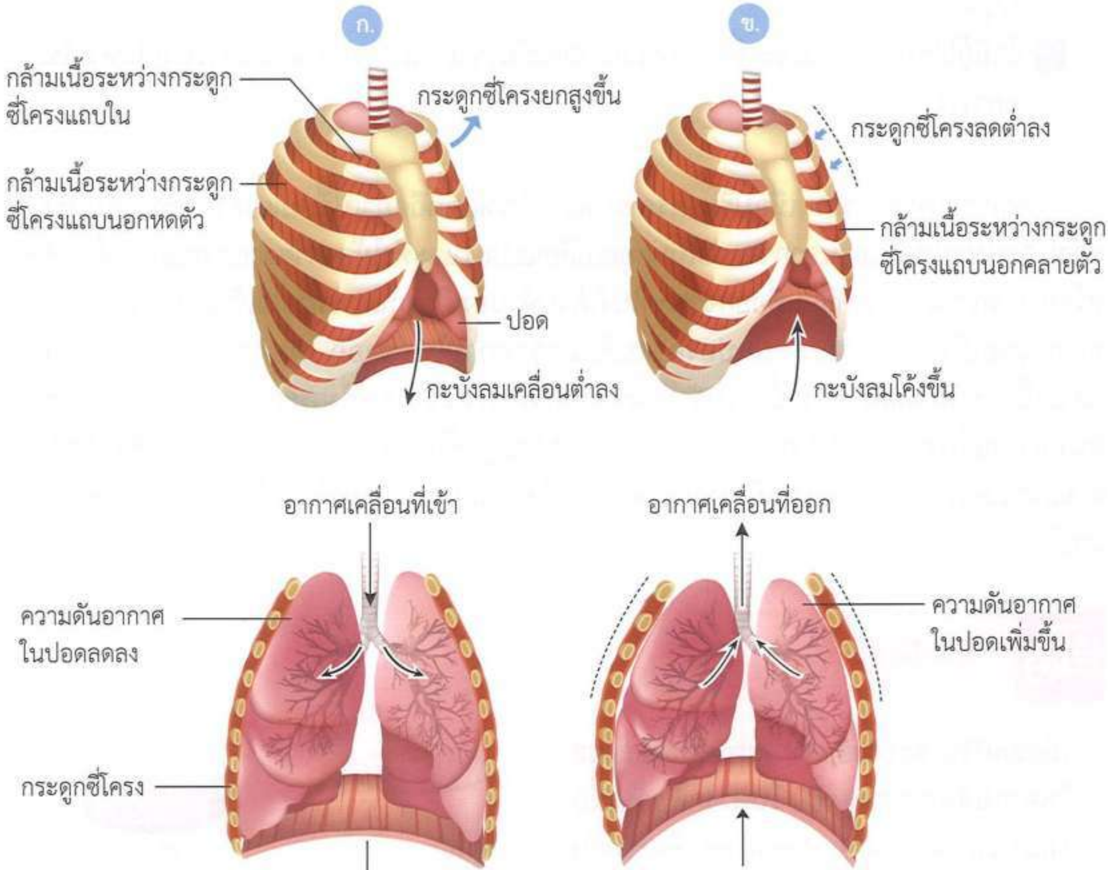
การเชื่อมโยงความรู้

เมื่อลดปริมาตรของอากาศในภาชนะจะส่งผลให้ความดันอากาศสูงขึ้น ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาตรของอากาศจะส่งผลให้ความดันอากาศต่ำลง



ในการหายใจปกติ เมื่อกล้ามเนื้อกะบังลมหดตัว กะบังลมจะเคลื่อนต่ำลง ขณะที่กล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบนอกหดตัวทำให้กระดูกซี่โครงยกสูงขึ้น ปริมาตรในช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันอากาศภายในปอดลดลง อากาศภายนอกจะเคลื่อนเข้าสู่ปอด ทำให้เกิดการหายใจเข้า ดังรูป 14.15 ก.

ส่วนการหายใจออกจะเกิดต่อเนื่องจากการหายใจเข้า โดยกล้ามเนื้อกะบังลมคลายตัว กะบังลมจะโค้งขึ้น ในขณะเดียวกันกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบนอกคลายตัว ทำให้กระดูกซี่โครงลดต่ำลง ปริมาตรในช่องอกลดลง ความดันอากาศในปอดเพิ่มขึ้นและมากกว่าความดันอากาศภายนอก อากาศจะเคลื่อนออกจากปอดสู่ภายนอก ทำให้เกิดการหายใจออก ดังรูป 14.15 ข.



รูป 14.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในช่องอกและความดันอากาศในปอด
ก. หายใจเข้า ข. หายใจออก

? การที่กระดูกซี่โครงยกสูงขึ้นหรือลดต่ำลงสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศในปอดอย่างไร

ในขณะพักผู้ใหญ่มีอัตราการหายใจประมาณ 12-20 ครั้งต่อนาที **การหายใจเข้าและหายใจออกแต่ละครั้งมีปริมาตรของอากาศเท่าใด และมีความแตกต่างระหว่างบุคคลหรือไม่อย่างไร**

รู้หรือไม่

ขณะที่มีการหายใจออกอย่างแรง เช่น ร้องเพลง เป่าเครื่องดนตรี จะเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อที่หน้าท้องและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบใน เพื่อช่วยในการหายใจออก

กิจกรรม 14.3 ปริมาตรของอากาศในการหายใจออกของมนุษย์

จุดประสงค์

1. วัดปริมาตรของอากาศในการหายใจออกของมนุษย์
2. ออกแบบการทดลองและทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาตรของอากาศที่หายใจออก

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดพลาสติกใสความจุ 5 L
2. ถ้วยตวงขนาด 500 mL
3. ปากกาสำหรับทำเครื่องหมาย
4. สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ยาว 60 cm
5. กะละมังพลาสติกขนาดความสูง 15-20 cm
6. น้ำ



วิธีการทำกิจกรรม

1. ใช้ถ้วยตวงตวงน้ำใส่ขวดพลาสติกให้เต็ม โดยทำเครื่องหมายทุก ๆ 500 mL แล้วปิดฝาขวด
2. เติมน้ำในกะละมังให้สูงประมาณ 5 cm แล้วนำขวดพลาสติกที่ใส่น้ำจนเต็มคว่ำลงในกะละมัง
3. เปิดฝาขวดใต้น้ำ แล้วนำปลายของสายยางสอดเข้าที่ปากขวด และจับขวดให้ปากขวดอยู่ใต้ระดับผิวน้ำตลอดเวลา
4. สูดอากาศเข้าปอดให้เต็มที่ แล้วเป่าอากาศออกให้มากที่สุดเพียงครั้งเดียวทางปลายสายยางอีกข้างหนึ่ง สังเกตผลและวัดปริมาตรของอากาศที่หายใจออกที่ไปแทนที่น้ำในขวด จากนั้นทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

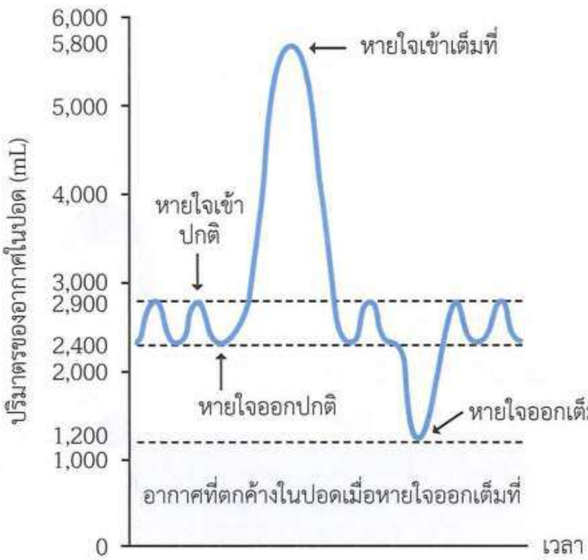
5. ออกแบบการทดลองและทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาตรของอากาศที่หายใจออกในแต่ละบุคคล

คำถามท้ายกิจกรรม

? ปริมาตรของอากาศที่หายใจออกเต็มที่แต่ละครั้งเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

? นอกจากปัจจัยที่นักเรียนได้ออกแบบการทดลอง ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อปริมาตรของอากาศที่หายใจออกอีกหรือไม่ อย่างไร

จากกิจกรรมเป็นการวัดปริมาตรของอากาศในการหายใจออกโดยประมาณ โดยปริมาตรของอากาศในปอดมนุษย์ขณะหายใจเข้าและออกสามารถวัดได้ด้วย**เครื่องสไปโรมิเตอร์** (spirometer) ซึ่งแสดงผลได้ดังรูป 14.16 ทั้งนี้เส้นกราฟขึ้นแสดงการหายใจเข้าและเส้นกราฟลงแสดงการหายใจออก



รูป 14.16 ปริมาตรของอากาศในปอดขณะหายใจเข้า-ออกปกติ และขณะหายใจเข้า-ออกเต็มที่

? ในการหายใจปกติแต่ละครั้ง ปริมาตรของอากาศในการหายใจเข้าเป็นเท่าไร และปริมาตรของอากาศในการหายใจออกเป็นเท่าไร

? ปริมาตรของอากาศจากการหายใจเข้าเต็มที่และการหายใจออกเต็มที่ต่างกันหรือไม่ อย่างไร

? เมื่อหายใจออกปกติจะมีปริมาตรของอากาศที่ตกค้างในปอดเป็นเท่าไร

? มนุษย์สามารถหายใจเอาอากาศออกจากปอดจนหมดได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตรวจสอบความเข้าใจ

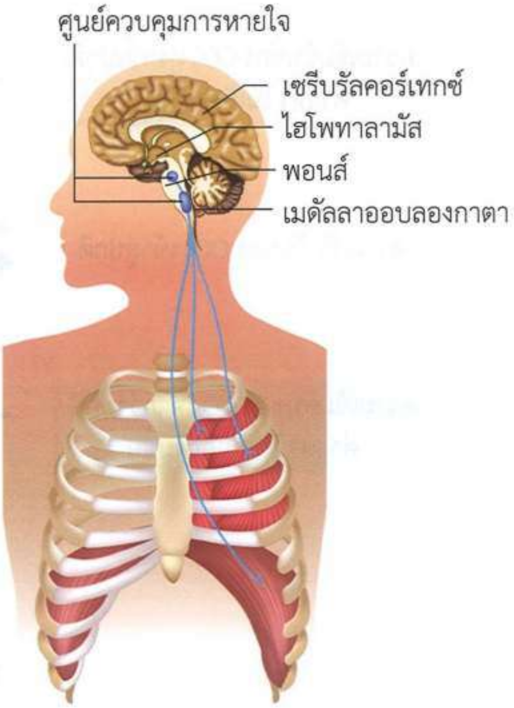
? เขียนตารางหรือแผนผังสรุปขั้นตอนการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจเข้าและหายใจออก พร้อมทั้งอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาตรช่องอกและความดันอากาศในปอด

จากกราฟอากาศที่หายใจเข้าและหายใจออกปกติแต่ละครั้งมีปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตร ถ้าบังคับให้หายใจเข้าเต็มที่อาจมีปริมาตรอากาศเพิ่มขึ้นถึง 5,800 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นระดับที่ปอดจะจุอากาศได้เต็มที่ การบังคับให้หายใจออกเต็มที่ อากาศจะออกจากปอดมากที่สุดเท่าที่กล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงจะทำได้ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อหายใจออกเต็มที่แล้วยังคงมีอากาศตกค้างในปอดประมาณ 1,200 มิลลิลิตร ทั้งนี้ปริมาตรปอดของแต่ละบุคคลอาจแตกต่างกันขึ้นกับเพศ อายุ สมรรถนะของร่างกาย

14.4.2 การควบคุมการหายใจ

การหายใจถูกควบคุมโดยระบบประสาท ทำให้การแลกเปลี่ยนแก๊สสัมพันธ์กับการหมุนเวียนเลือดและอัตราเมแทบอลิซึม **กลไกการควบคุมการหายใจเกิดขึ้นได้อย่างไร และมนุษย์สามารถควบคุมการหายใจของตนเองได้หรือไม่ อย่างไร**

การหายใจถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติซึ่งอยู่นอกอำนาจจิตใจ โดยศูนย์ควบคุมการหายใจอยู่ที่สมองส่วนพอนส์และเมดัลลาออบลองกาตาที่จะส่งสัญญาณประสาทไปกระตุ้นกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ ดังรูป 14.17 ทำให้เกิดการหายใจเข้าและหายใจออกเป็นจังหวะสม่ำเสมอตลอดเวลา



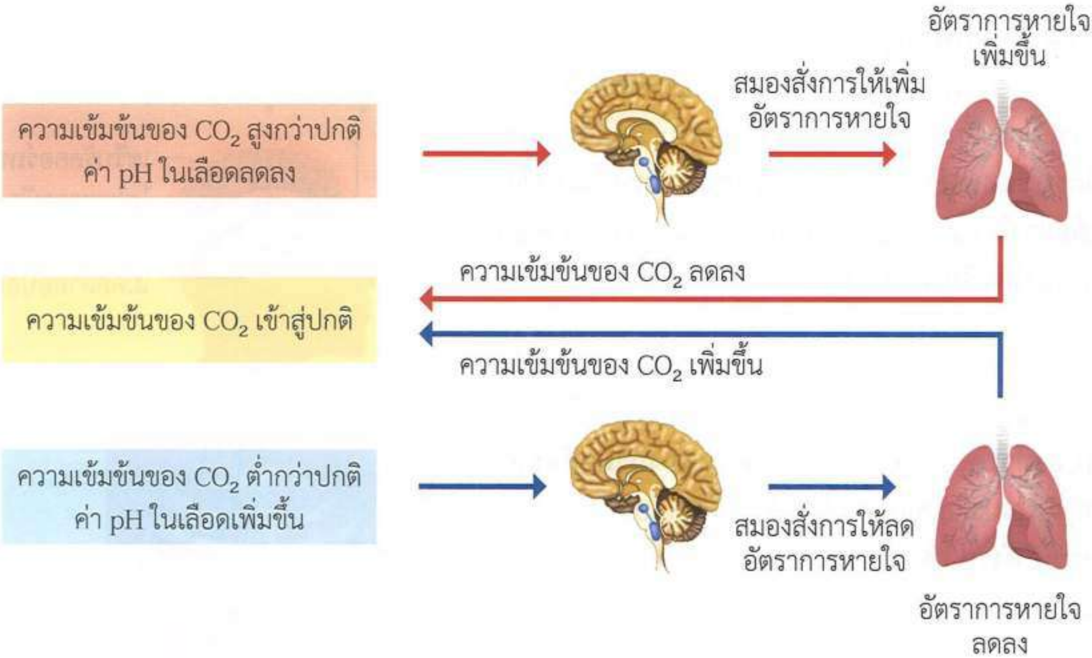
รูป 14.17 การควบคุมการหายใจ

นอกจากนี้การหายใจยังมีการควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ โดยสมองส่วนหน้าบริเวณเซรีบรัลคอร์เทกซ์และไฮโพทาลามัส ทำให้สามารถควบคุมหรือปรับการหายใจให้เหมาะสมกับพฤติกรรมต่าง ๆ เช่น การพูด การร้องเพลง การว่ายน้ำ การหายใจยาวและลึก และการกลั้นหายใจ

การรักษาดุลยภาพของกรด-เบสของเลือดโดยระบบหายใจ

ความเป็นกรด-เบสของเลือดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการหายใจของมนุษย์ เมื่อร่างกายทำกิจกรรมต่าง ๆ จะมี CO_2 เกิดขึ้นและมีไฮโดรเจนไอออนสะสมในเลือดตลอดเวลา ส่งผลให้ความเป็นกรด-เบสของเลือดเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีผลต่อการทำงานของเซลล์ได้ ร่างกายมีการควบคุมความเป็นกรด-เบสในเลือดโดยการหายใจออกเพื่อขับ CO_2 ซึ่งเป็นการรักษาดุลยภาพของร่างกาย

ถ้ามีปริมาณ CO_2 หรือไฮโดรเจนไอออนที่สะสมในเลือดมากจะส่งผลให้เลือดมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งสัญญาณไปกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจที่สมอง ส่งผลให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเพื่อขับ CO_2 ออกจากปอดเร็วขึ้น ทำให้ความเป็นกรด-เบสในเลือดเข้าสู่ภาวะสมดุล เช่น การหายใจเร็วและลึกหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก ดังรูป 14.18 รวมทั้งไฮโดรเจนไอออนสามารถไปรวมกับสารอินทรีย์อื่น ๆ ในร่างกายเป็นการควบคุมดุลยภาพของร่างกายส่วนหนึ่ง



รูป 14.18 **การรักษาดุลยภาพของกรด-เบสของเลือดโดยระบบหายใจ**

? ในขณะที่นอนหลับมีการควบคุมการหายใจแบบใด

? เพราะเหตุใดมนุษย์ไม่สามารถกลั้นหายใจจนเสียชีวิตได้

กรณีศึกษา

จากข้อมูลให้อธิบายว่าอัตราการหายใจ ความดันย่อยของ O_2 ความดันย่อยของ CO_2 ความเข้มข้นของ H^+ ในเลือด ขณะพักและหลังออกกำลังกายอย่างหนักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะเหตุใด โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับการควบคุมดุลยภาพของกรด-เบสของเลือดโดยระบบหายใจ

ตารางแสดงผลการศึกษาอัตราการหายใจ ความดันย่อยของ O_2 ความดันย่อยของ CO_2 ความเข้มข้นของ H^+ ในขณะพักและหลังออกกำลังกายอย่างหนัก

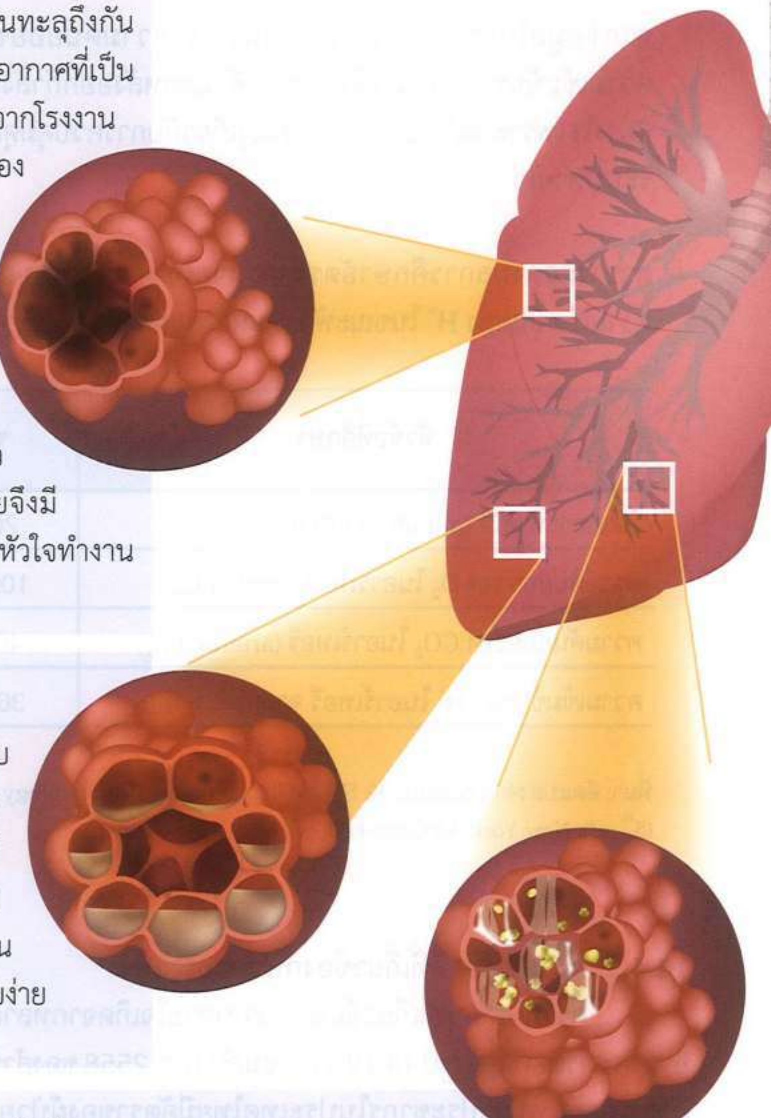
หัวข้อที่ศึกษา	ขณะพัก	หลังออกกำลังกายอย่างหนัก
อัตราการหายใจ (minute ventilation)	20 L/min	70 L/min
ความดันย่อยของ O_2 ในอาร์เทอรี (arterial P_{O_2})	100 mmHg	100 mmHg
ความดันย่อยของ CO_2 ในอาร์เทอรี (arterial P_{CO_2})	40 mmHg	35 mmHg
ความเข้มข้นของ H^+ ในอาร์เทอรี จากกรดแลกติก	36 nmol/L	44 nmol/L

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saladin, K. S. (2010). **Anatomy & Physiology : The Unity of Form and Function** (5^{th} ed). New York: McGraw-Hill. p 474.

14.4.3 ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ

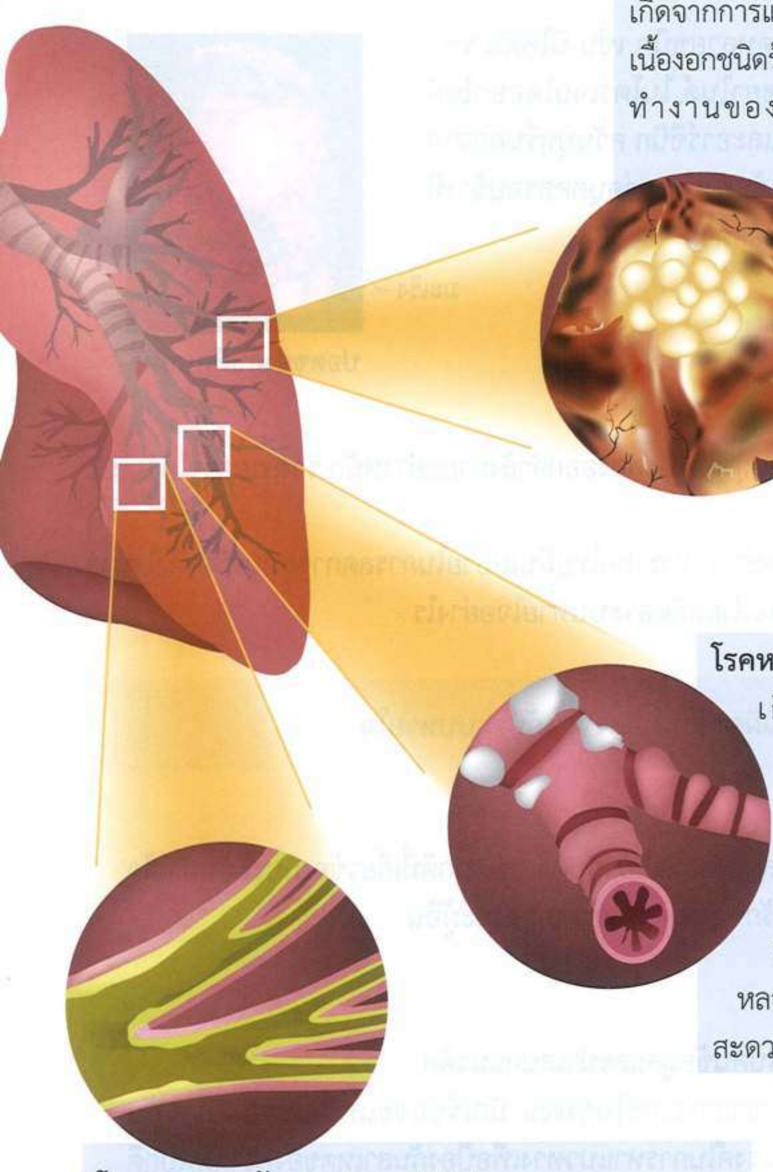
ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การสูบบุหรี่ มลพิษทางอากาศ การติดเชื้อ ดังรูป 14.19 จากข้อมูลปี พ.ศ. 2558 ของสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข พบว่าประชากรในประเทศไทยมีอัตราของผู้ป่วยด้วยโรคเกี่ยวกับระบบหายใจสูงเป็นอันดับหนึ่ง รวมทั้งองค์การอนามัยโลกรายงานว่าโรคเกี่ยวกับระบบหายใจยังเป็นสาเหตุอันดับต้น ๆ ในการเสียชีวิตของประชากรโลก **โรคเกี่ยวกับระบบหายใจมีโรคอะไรบ้าง และมีสาเหตุมาจากอะไร**

โรคถุงลมโป่งพอง (emphysema)
เป็นโรคที่ผนังของถุงลมถูกทำลายจนทะลุถึงกัน เกิดเป็นถุงขนาดใหญ่ เกิดจากการสูดอากาศที่เป็นพิษเป็นเวลานาน เช่น ควันบุหรี่ ควันจากโรงงาน ควันจากท่อไอเสียรถ รวมทั้งฝุ่นละออง ที่เซลล์เม็ดเลือดขาวไม่สามารถทำลายสิ่งแปลกปลอมได้จึงสะสมอยู่ในเซลล์ และสร้างเอนไซม์ที่สามารถทำลายถุงลมและหลอดลมฝอยส่วนปลายในปอดได้ ทำให้เกิดเป็นถุงขนาดใหญ่ ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง ผู้ป่วยจึงมีอาการหายใจถี่ขึ้น เหนื่อยหอบ และหัวใจทำงานหนักจนอาจมีอาการหัวใจวายได้



โรคปอดบวม (pneumonia)
เป็นโรคที่เนื้อเยื่อปอดเกิดการอักเสบและบวม ส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัส ส่งผลให้หลอดลมและถุงลมมีของเหลวเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง ผู้ป่วยจะมีอาการไอ เหนื่อยง่าย หายใจเร็ว

โรควัณโรค (tuberculosis)
เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis* ทำให้เกิดการอักเสบบริเวณปอด ผู้ป่วยมีอาการไอเรื้อรัง โดยโรคนี้สามารถติดต่อสู่ผู้อื่นผ่านทางละอองเสมหะจากการไอ จาม



โรคมะเร็งปอด (lung cancer)
เกิดจากการแบ่งเซลล์ของปอดที่ผิดปกติ เกิดเป็นเนื้องอกชนิดร้ายกระจายภายในปอด ส่งผลต่อการทำงานของปอด ผู้ป่วยมีอาการไอเรื้อรัง แน่นหน้าอก เหนื่อยง่าย ซึ่งผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดมากกว่า 85% เป็นผู้ที่เคยมีประวัติสูบบุหรี่ หรือสูดดมควันพิษเป็นระยะเวลานาน

โรคหอบหืด (asthma)
เกิดจากการอักเสบเรื้อรังของหลอดลม ผู้ป่วยมีความไวต่อสิ่งกระตุ้น เช่น เรณู ฝุ่น และสารเคมี ทำให้ทางเดินหายใจมีการระคายเคือง กล้ามเนื้อบริเวณหลอดลมเกิดการหดตัว เป็นเหตุให้หลอดลมตีบกว่าปกติ ผู้ป่วยจะหายใจไม่สะดวก เกิดอาการหอบหืดได้

โรคหลอดลมอักเสบ (bronchitis)
เกิดจากการอักเสบของเยื่อบุหลอดลม มีเสมหะในหลอดลม ทำให้ผู้ป่วยมีอาการไอ มีเสมหะ และหายใจไม่สะดวก

รูป 14.19 ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ

รู้หรือไม่

บุหรี่มีสารก่อมะเร็งและสารเสพติดหลายชนิด เช่น นิโคติน ทาร์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฟอร์มัลดีไฮด์ แอมโมเนีย เบนซีน และอาร์ซีนิก ควันบุหรี่นอกจากจะทำให้ผู้ที่สูบบุหรี่เป็นโรคต่าง ๆ แล้ว ยังส่งผลต่อบุคคลรอบข้างที่ไม่ได้สูบแต่ได้สูดดมควันบุหรี่เข้าไปอีกด้วย



ปอดของคนที่สูบบุหรี่

- ? เพราะเหตุใด ในขณะที่ผู้ป่วยโรคถุงลมโป่งพองออกกำลังกายอย่างหนัก ร่างกายอาจได้รับ O_2 ไม่เพียงพอ
- ? การสูบบุหรี่มีผลเสียต่อร่างกายอย่างไร ประเทศไทยมีนโยบายในการลดการสูบบุหรี่อย่างไรบ้าง
- ? การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอส่งผลดีต่อระบบหายใจอย่างไร

กิจกรรมเสนอแนะ : ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ
2. นำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการดูแลรักษาสุขภาพของตนเองและผู้อื่น

วิธีการทำกิจกรรม

ศึกษาสถานการณ์ต่อไปนี้ จากนั้นสืบค้นข้อมูลและนำเสนอแนวคิด

สถานการณ์ : หากนักเรียนเป็นนักสาธารณสุขในชุมชน นักเรียนจะเสนอแนวคิดเกี่ยวกับนวัตกรรมหรือการรณรงค์ในการหาแนวทางเพื่อป้องกันสาเหตุของความผิดปกติเกี่ยวกับระบบหายใจ เช่น การสูบบุหรี่ ควันจากรถยนต์ เชื้อโรค และฝุ่นละออง อย่างไร โดยอาจนำเสนอแนวคิดในรูปแบบแผนภาพ วีดิทัศน์ หรือแผ่นพับที่มีข้อมูลเกี่ยวกับสาเหตุ อาการ และการป้องกันความผิดปกติเกี่ยวกับระบบหายใจ

จากที่ได้ศึกษาข้างต้น จะเห็นได้ว่าระบบหายใจทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างร่างกายกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานให้แก่สิ่งมีชีวิต มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต หากมีความผิดปกติเกิดขึ้นจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิต ดังนั้นจึงควรดูแลรักษาระบบหายใจให้ทำงานได้อย่างปกติ

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างร่างกายต่างกันและอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จะมีโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สแตกต่างกัน
   - การแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยตรงพบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น อะมีบา พารามีเซียม และสัตว์ที่ไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด เช่น ฟองน้ำ ไฮดรา พลานาเรีย
   - ไส้เดือนดินแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านเซลล์บริเวณผิวหนังที่เปียกชื้น
   - แมลงแลกเปลี่ยนแก๊สโดยผ่านทางท่อลมซึ่งแตกแขนงเป็นท่อลมฝอย
   - ปลาเป็นสัตว์น้ำมีการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำผ่านเหงือก
   - สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกแลกเปลี่ยนแก๊สโดยใช้เหงือกในระยะตัวอ่อน ใช้ผิวหนังและปอดในระยะตัวเต็มวัย
   - สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ปีก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมใช้ปอดในการแลกเปลี่ยนแก๊ส
2. ลักษณะสำคัญของโครงสร้างที่ใช้แลกเปลี่ยนแก๊ส คือ มีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊สมาก ผนังบาง และเปียกชื้น
3. ทางเดินหายใจของมนุษย์ประกอบด้วยรูจมูก โพรงจมูก คอหอย กล่องเสียง ท่อลม หลอดลม หลอดลมฝอย และถุงลมในปอด
4. ในมนุษย์การแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นบริเวณถุงลมในปอดกับหลอดเลือดฝอยที่ถุงลม และบริเวณเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยมีการแพร่ผ่านหลอดเลือดฝอย
5. การหายใจเข้าและการหายใจออกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศภายในปอดโดยการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบนอก และควบคุมโดยสมองส่วนพอนส์และเมดัลลาออบลองกาตา
6. ร่างกายรักษาดุลยภาพความเป็นกรด-เบสของเลือดได้โดยระบบหายใจ
7. ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ เช่น โรคถุงลมโป่งพอง โรคปอดบวม โรควัณโรค โรคมะเร็งปอด โรคหอบหืด โรคหลอดลมอักเสบ

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขข้อความโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์

.......1.1 ผิวหนัง เหงือก และปอดเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส มีลักษณะบางและชื้นอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการแพร่และแอกทีฟทรานสปอร์ตของแก๊สได้

....

.......1.2 ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มีระบบหมุนเวียนเลือดและสามารถแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านผิวหนังลำตัว

....

.......1.3 แมลงมีการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างท่อลมฝอยกับเซลล์ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

....

.......1.4 ในปลา น้ำที่มี O_2 จากปากจะผ่านออกทางเหงือก โดย O_2 จากน้ำจะแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยที่เหงือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเลือดและน้ำไหลไปในทิศทางเดียวกัน

....

.......1.5 สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกใช้เหงือก ผิวหนัง และปอดในการแลกเปลี่ยนแก๊ส

....

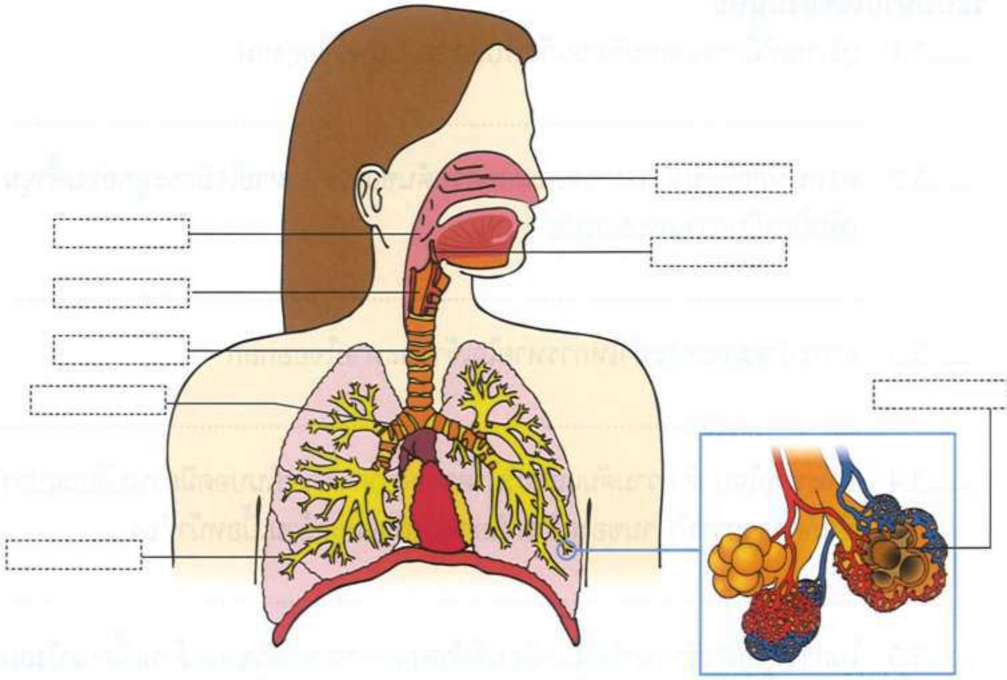
.......1.6 โครงสร้างที่ใช้แลกเปลี่ยนแก๊สของนกอยู่ที่ปอดและถุงลม (air sac)

....

.......1.7 อากาศที่ไหลผ่านปอดของนกจะไหลในทิศทางเดียวเสมอ โดยทุกรอบของการหายใจ อากาศในปอดจะถูกแทนที่ด้วยอากาศจากถุงลมเข้าไปใหม่ตลอดเวลา

....

2. จากรูปทางเดินหายใจของมนุษย์ จงระบุชื่อโครงสร้างในช่องว่าง จากนั้นนำชื่อโครงสร้างใส่หน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน



..................2.1 ส่วนของทางเดินหายใจที่อยู่ระหว่างคอหอยและท่อลม ภายในมีสายเสียง
..................2.2 ท่อที่อยู่ระหว่างกล่องเสียงกับหลอดลม
..................2.3 หลอดขนาดเล็กที่แตกแขนงจากหลอดลม มีหลายขนาด ลำเลียงอากาศไปยังถุงลมในปอด
..................2.4 ช่องบริเวณลำคอเป็นทางผ่านของอากาศและอาหาร
..................2.5 หลอด 2 แขนงที่แยกจากท่อลมเพื่อไปยังปอดซ้ายและปอดขวา
..................2.6 ถุงปลายตันที่มีผนังบางอยู่ในปอด ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส
..................2.7 โพรงบริเวณจมูกซึ่งมีเยื่อบุผิวที่มีซิเลีย และเมือกสำหรับจับสิ่งแปลกปลอม
..................2.8 แผ่นที่ปิดกล่องเสียง เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเข้าไปในทางเดินหายใจ

3. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขข้อความโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

ระบบหายใจของมนุษย์

.......3.1 บริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ปอดของมนุษย์คือถุงลม

....

.......3.2 ท่อลม หลอดลม และหลอดลมฝอยส่วนต้นของระบบหายใจมีกระดูกอ่อนค้ำจุนเพื่อป้องกันการแฟบของท่อ

....

.......3.3 ถ้ากะบังลมทะลุจะทำให้การหายใจเข้าและหายใจออกลึก

....

.......3.4 ขณะหายใจปกติ ความดันและปริมาตรของอากาศภายในปอดมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อหน้าท้อง

....

.......3.5 ในการหายใจเข้า กะบังลมเคลื่อนที่ต่ำลงจากการหดตัวของกล้ามเนื้อกะบังลม และกระดูกซี่โครงยกสูงขึ้นจากการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบนอก ทำให้ปริมาตรในช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันภายในปอดลดลง

....

.......3.6 ในการหายใจออกอย่างแรง (forced breathing) จะมีการหดตัวของกล้ามเนื้อหน้าท้องและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบในมาทำงานร่วมกัน

....

.......3.7 การหายใจเข้าและการหายใจออกเกิดขึ้นได้อย่างเป็นจังหวะสม่ำเสมอทั้งในยามหลับและตื่น เนื่องจากการควบคุมของสมองส่วนไฮโพทาลามัส

....

.......3.8 การกลั้นหายใจขณะดำน้ำ ส่วนของสมองที่ทำหน้าที่เพิ่มขึ้นคือเซรีบรัลคอร์เทกซ์และไฮโพทาลามัส

....

.......3.9 การหายใจช่วยรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในร่างกายโดยการขับ CO_2 ออก

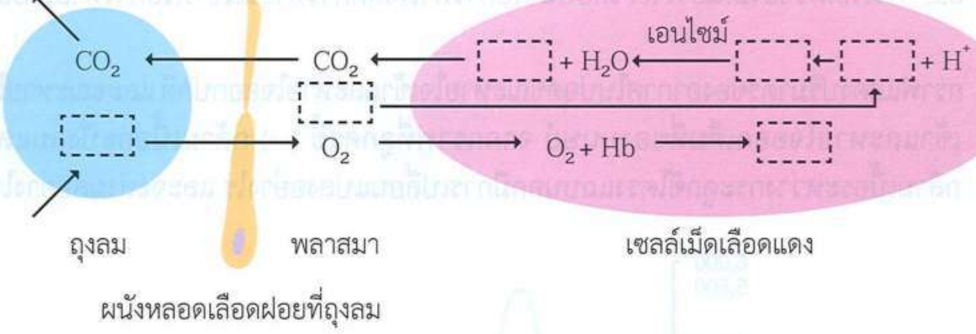
....

.......3.10 ภายในปอดของผู้ป่วยที่เป็นโรคปอดบวมซึ่งมีของเหลวในถุงลมเพิ่มขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง

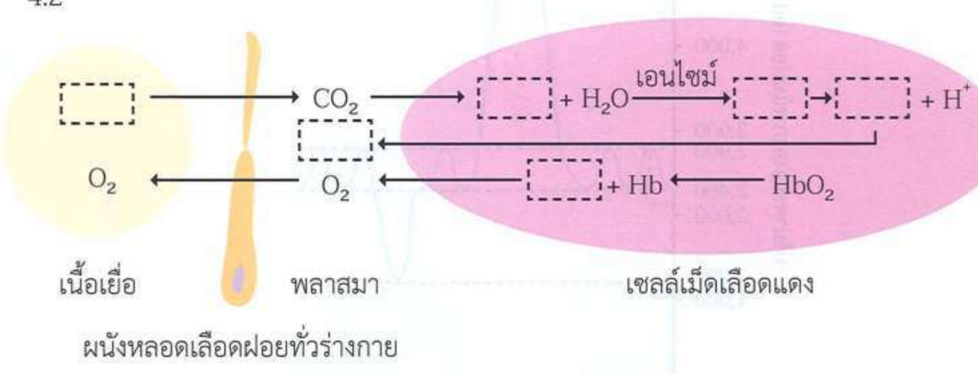
....

4. จากแผนภาพเรื่องการแลกเปลี่ยนแก๊ส จงเติมคำลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

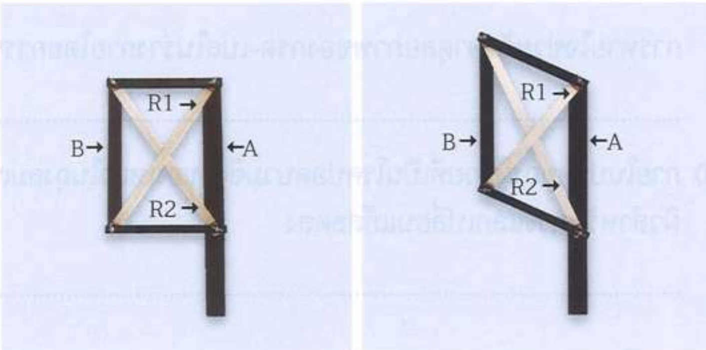
4.1



4.2



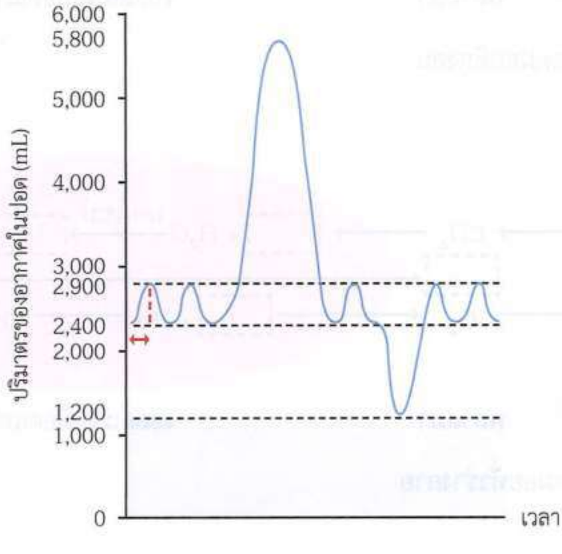
5. จากรูปแสดงแบบจำลองที่ทำจากไม้ (A และ B) และเส้นยาง (R1 และ R2) เพื่อแสดงการเคลื่อนที่ของกระดูกซี่โครงในการหายใจปกติของมนุษย์ เมื่อเส้นยาง R1 หดตัว พบว่าไม้ชิ้น B เลื่อนขึ้น



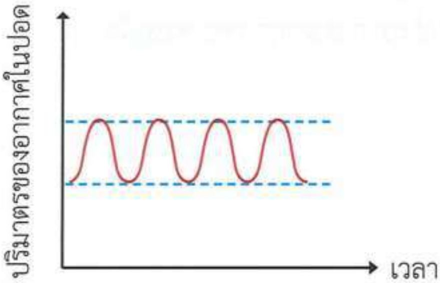
5.1 ถ้า A แทนกระดูกสันหลังและ B แทนกระดูกอก (sternum) เส้นยาง R1 และ R2 แทนโครงสร้างใด

5.2 การหดตัวของเส้นยาง R1 เทียบได้กับการทำให้เกิดการหายใจเข้าหรือการหายใจออก

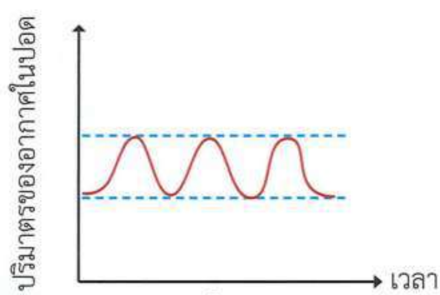
6. กราฟแสดงปริมาตรของอากาศในปอดขณะหายใจเข้าและหายใจออกปกติ และขณะหายใจเข้าและหายใจออกเต็มที่ของมนุษย์ จากกราฟที่ลูกศรชี้ (↔) กล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงแถบนอกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และจะส่งผลอย่างไร



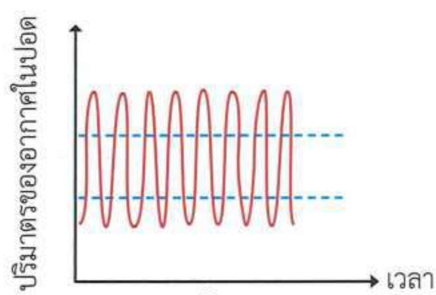
7. กราฟแสดงปริมาตรของอากาศในปอดขณะหายใจเข้าและหายใจออกของมนุษย์ที่วัดได้จากเครื่องสไปโรมิเตอร์ในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อเปรียบเทียบกับขณะพักจะเป็นไปดังกราฟใด เพราะเหตุใด



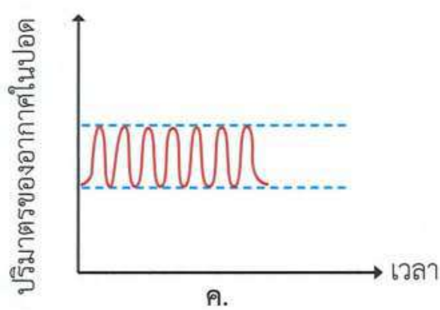
ขณะพัก



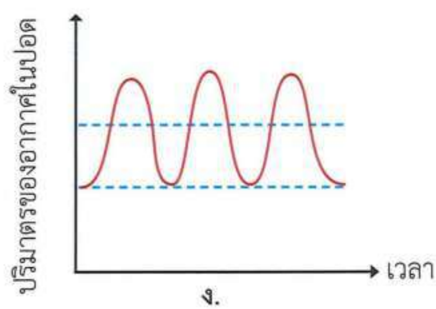
ก.



ข.



ค.



ง.

8. Hyperventilation syndrome คือ ภาวะที่ผู้ป่วยหายใจเร็วและลึกทำให้มีปริมาณ CO_2 ในเลือดลดลง เลือดจึงมีความเป็นเบส ส่งผลให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ หน้ามืด ตาพร่ามัว หัวใจเต้นเร็ว ใจสั่น มือเท้าเย็น ชาตามแขนตามขา หรือมีอาการกล้ามเนื้อเกร็ง นิ้วมือจีบเข้าหากัน บางรายเป็นลมหมดสติได้ การปฐมพยาบาลเบื้องต้นทำโดยการปรับให้หายใจช้าลงหรือการใช้ถุงกระดาษครอบทั้งปากและจมูก เพราะเหตุใด

บทที่ 15 | ระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลือง

ipst.me/8868



เมื่อไปพบแพทย์จะมีการวัดอุณหภูมิของร่างกาย ความดันเลือด การหายใจ รวมถึงการเต้นของหัวใจ ซึ่งมีประโยชน์ในการตรวจสุขภาพเบื้องต้นและช่วยวินิจฉัยโรคได้ ทั้งนี้การวัดอัตราการเต้นของหัวใจสามารถบอกการทำงานของหัวใจ โดยจังหวะการเต้นของหัวใจที่วัดได้เป็นผลมาจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ เมื่อหัวใจบีบตัวทำให้เลือดไหลเวียนและลำเลียงสารอาหาร แก๊สออกซิเจน และสารอื่น ๆ ไปยังอวัยวะและเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ในขณะเดียวกันของเสียและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์ก็จะแพร่เข้าสู่เลือดก่อนลำเลียงกลับเข้าสู่หัวใจ **การลำเลียงสารในร่างกายมีกระบวนการอย่างไร และมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างของร่างกายต่างกันจะมีกระบวนการลำเลียงสารไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

2. ระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลืองมีความสำคัญต่อการรักษาดุลยภาพของร่างกายอย่างไร

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิดและระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด
2. สังเกตและอธิบายทิศทางการไหลของเลือดและการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดในหางปลา
3. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและขนาดของหลอดเลือดกับความเร็วในการไหลของเลือด
4. อธิบายโครงสร้างและการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดในมนุษย์
5. สังเกตและอธิบายโครงสร้างหัวใจของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ทิศทางการไหลของเลือดผ่านหัวใจของมนุษย์ และเขียนแผนผังสรุปการหมุนเวียนเลือดของมนุษย์
6. สืบค้นข้อมูล ระบุความแตกต่างของเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว เพลตเลต และพลาสมา
7. อธิบายหมู่เลือดและหลักการให้และรับเลือดในหมู่เลือดระบบ ABO และหมู่เลือดระบบ Rh
8. อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับส่วนประกอบและหน้าที่ของน้ำเหลือง รวมทั้งโครงสร้างและหน้าที่ของหลอดน้ำเหลือง และต่อมน้ำเหลือง

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

◯ 1. หัวใจของมนุษย์แบ่งเป็น 4 ห้อง ได้แก่ หัวใจห้องบน 2 ห้อง และห้องล่าง 2 ห้อง ระหว่างหัวใจห้องซ้ายและหัวใจห้องขวามีลิ้นหัวใจกั้น

◯ 2. หัวใจห้องบนซ้ายจะบีบตัวส่งเลือดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

◯ 3. หลอดเลือดแบ่งเป็น หลอดเลือดอาร์เทอรี หลอดเลือดเวน หลอดเลือดฝอย ซึ่งมีโครงสร้างต่างกัน

◯ 4. เลือดประกอบด้วย เซลล์เม็ดเลือด เกล็ดเลือด และพลาสมา

◯ 5. เลือดที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนสูงจะออกจากหัวใจไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ขณะเดียวกันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์จะแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยและลำเลียงกลับเข้าสู่หัวใจและลำเลียงไปแลกเปลี่ยนแก๊สที่ปอด

◯ 6. ชีพจรบอกอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจในขณะปกติและหลังจากทำกิจกรรมต่าง ๆ จะแตกต่างกัน

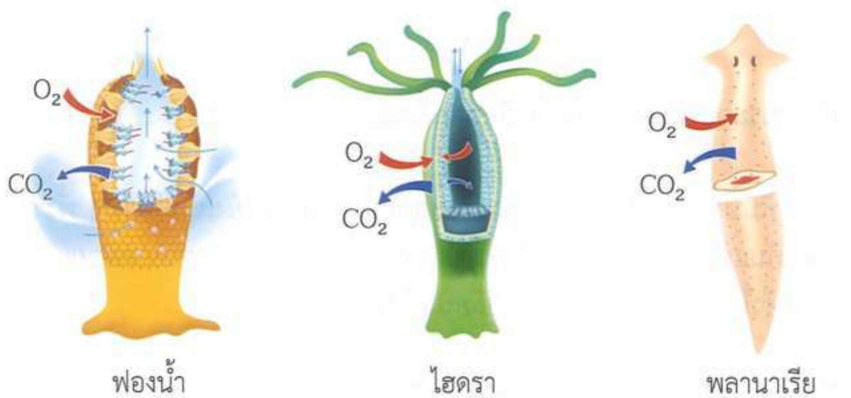
◯ 7. อัตราการเต้นของหัวใจในคนที่มีอายุเท่ากันและเพศเดียวกันจะไม่แตกต่างกัน

◯ 8. การออกกำลังกาย การเลือกรับประทานอาหาร และการพักผ่อนให้เพียงพอช่วยในการดูแลรักษาระบบหมุนเวียนเลือดให้เป็นปกติ

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีการลำเลียงสารไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของร่างกาย บางชนิดลำเลียงสารโดยการแพร่ระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อมโดยตรง เช่น อะมีบา พารามีเซียม บางชนิดมีการลำเลียงสารโดยระบบหมุนเวียนเลือด เช่น สัตว์มีกระดูกสันหลัง

15.1 การลำเลียงสารในร่างกายของสัตว์

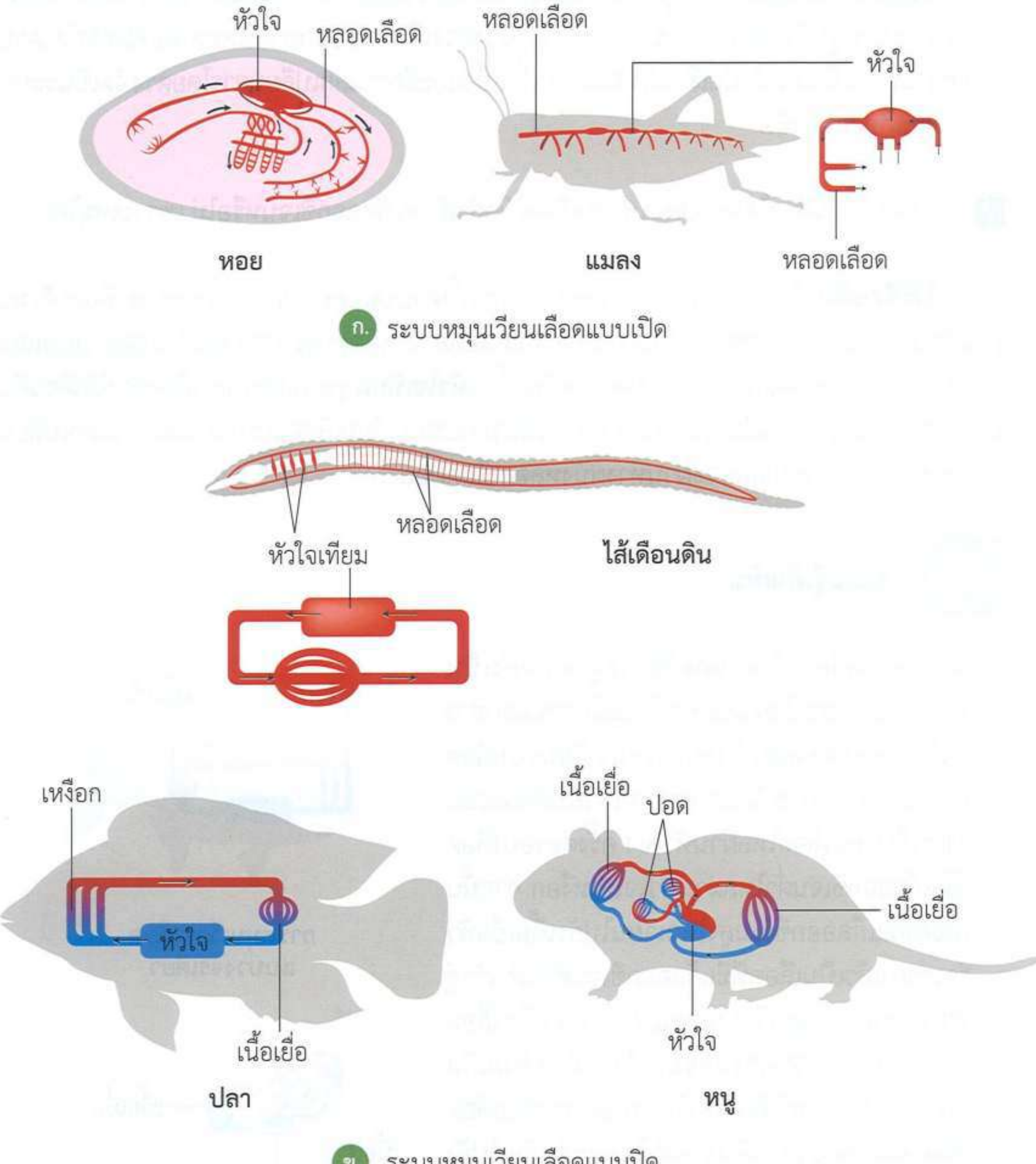
สัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายไม่ซับซ้อน มีการลำเลียงสาร เช่น สารอาหาร แก๊ส และของเสีย โดยการแพร่ระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อม เช่น ฟองน้ำ ไฮดรา และพลานาเรีย ดังรูป 15.1 สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีเซลล์บริเวณผิวสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง การลำเลียงสารจึงเป็นการลำเลียงผ่านเซลล์โดยตรงซึ่งเพียงพอต่อการดำรงชีวิต



รูป 15.1 การลำเลียงสารของสัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายไม่ซับซ้อน

สัตว์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ เซลล์ที่อยู่ภายในร่างกายไม่ได้สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรงจำเป็นต้องมีการลำเลียงสารโดยระบบหมุนเวียนเลือด ซึ่งประกอบด้วย หัวใจ หลอดเลือด และเลือด

สัตว์มีระบบหมุนเวียนเลือด 2 แบบ คือ ถ้าเลือดไม่ได้ไหลเวียนอยู่ในหลอดเลือดตลอดเวลาเรียกว่า **ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด** (open circulatory system) พบในสัตว์บางกลุ่ม เช่น หอย แมลง กุ้ง ดังรูป 15.2 ก. แต่ถ้าเลือดมีการไหลเวียนในหลอดเลือดตลอดเวลาเรียกว่า **ระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด** (closed circulatory system) พบในสัตว์บางกลุ่ม เช่น ไส้เดือนดิน สัตว์มีกระดูกสันหลัง ดังรูป 15.2 ข.



รูป 15.2 การลำเลียงสารในร่างกายของสัตว์

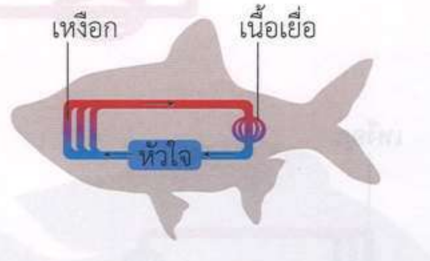
แมลง มีหลอดเลือดใหญ่อยู่ทางด้านหลังของลำตัว หลอดเลือดบางส่วนขยายขนาดขึ้น เรียกว่า หัวใจ ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปตามหลอดเลือด บางช่วงเลือดจะออกจากหลอดเลือดแทรกไปตามช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อ ดังนั้นเลือดจึงสัมผัสกับเนื้อเยื่อและมีการแลกเปลี่ยนสารโดยตรง จัดเป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด

? แมลงจำเป็นต้องใช้ระบบหมุนเวียนเลือดเพื่อลำเลียงแก๊สออกซิเจนหรือไม่ เพราะเหตุใด

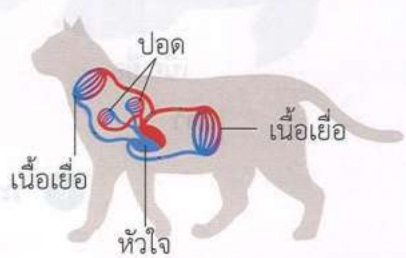
ไส้เดือนดิน มีหลอดเลือดทอดยาวตลอดลำตัวทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยหลอดเลือดบริเวณส่วนหัวมีลักษณะเป็นห่วงหลอดเลือดรอบบริเวณหลอดอาหารติดต่อระหว่างหลอดเลือดด้านบนและด้านล่าง ทำหน้าที่สูบฉีดเลือด เรียกห่วงหลอดเลือดนี้ว่า **หัวใจเทียม** (pseudoheart) เลือดของไส้เดือนดินมีการไหลเวียนในหลอดเลือดตลอดเวลาจึงจัดเป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด และการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อจะผ่านทางผนังหลอดเลือดฝอย

ความรู้เพิ่มเติม

ระบบหมุนเวียนเลือดในสัตว์มีกระดูกสันหลังเป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิดซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ โดยการหมุนเวียนของเลือดแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ การหมุนเวียนเลือดแบบวงจรเดียว คือ เลือดไหลผ่านหัวใจ 1 ครั้งต่อรอบ เลือดที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำไหลผ่านหัวใจไปเหงือก จากนั้นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนสูงไหลเวียนไปยังเนื้อเยื่อทั่วร่างกาย แล้วเป็นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำกลับเข้าสู่หัวใจ ส่วนการหมุนเวียนเลือดแบบ 2 วงจร คือ เลือดไหลผ่านหัวใจ 2 ครั้งต่อรอบ โดยเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำเข้าสู่หัวใจ แล้วไปยังปอด จากนั้นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนสูงกลับเข้าสู่หัวใจ และลำเลียงไปยังเนื้อเยื่อทั่วร่างกายแล้วเป็นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำกลับเข้าสู่หัวใจ ดังรูป



การหมุนเวียนเลือดแบบวงจรเดียว

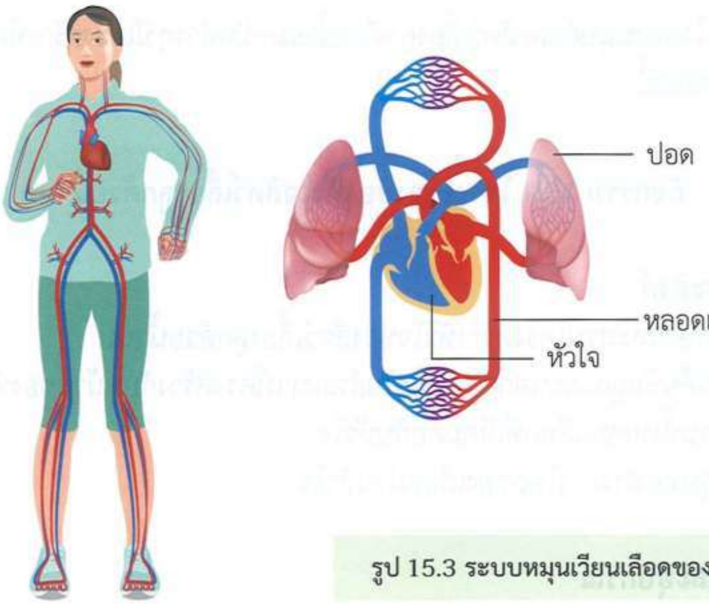


การหมุนเวียนเลือดแบบ 2 วงจร

มนุษย์มีการลำเลียงสารไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และนำสารที่ร่างกายไม่ต้องการไปกำจัดออก **การลำเลียงสารของมนุษย์เหมือนหรือแตกต่างจากสัตว์อื่น ๆ อย่างไร**

15.2 การลำเลียงสารในร่างกายของมนุษย์

ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์ประกอบด้วย หัวใจทำหน้าที่สูบฉีดเลือดแล้วลำเลียงผ่านหลอดเลือด โดยเลือดทำหน้าที่ลำเลียงสารต่าง ๆ เช่น สารอาหาร แก๊ส ของเสีย และสารอื่น ๆ ไปยังปอดและส่วนต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ดังรูป 15.3



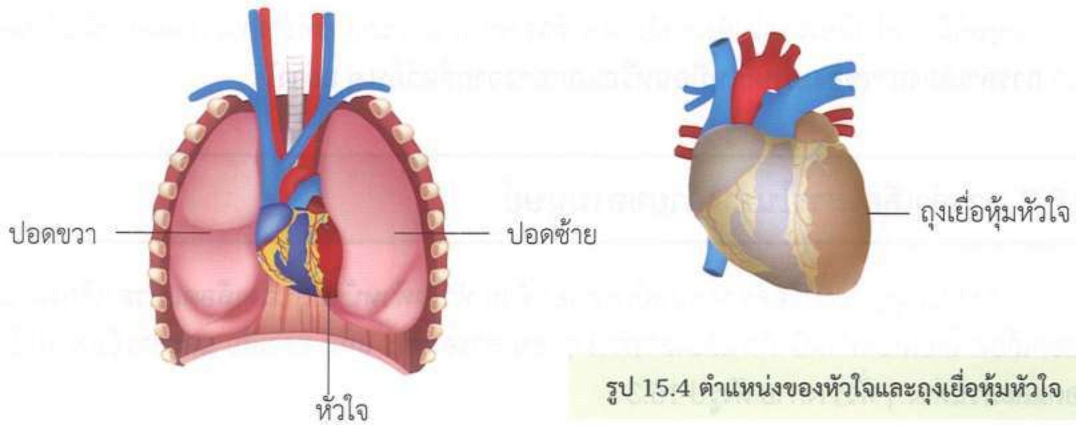
รูป 15.3 ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์

? ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์เป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิดหรือแบบปิด เพราะเหตุใด

15.2.1 หัวใจ

หัวใจ เป็นอวัยวะที่พัฒนามาจากหลอดเลือด มีเนื้อเยื่อหนา เรียกว่า **กล้ามเนื้อหัวใจ** (cardiac muscle) และภายในหัวใจแบ่งเป็น 4 ห้อง ห้องบน 2 ห้อง ห้องล่าง 2 ห้อง

หัวใจอยู่ภายใน**ถุงเยื่อหุ้มหัวใจ** (pericardium) ระหว่างปอดทั้งสองข้าง ค่อนไปทางซ้ายเล็กน้อย ภายในถุงเยื่อหุ้มหัวใจมีของเหลวที่สร้างจากเยื่อหุ้มหัวใจทำหน้าที่หล่อลื่นและป้องกันการเสียดสีระหว่างหัวใจกับปอด ดังรูป 15.4



รูป 15.4 ตำแหน่งของหัวใจและถุงเยื่อหุ้มหัวใจ

หัวใจของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมชนิดต่างๆ มีโครงสร้างที่คล้ายกัน ซึ่งจะได้ศึกษาจากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 15.1 โครงสร้างของหัวใจสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

ipst.me/9202

จุดประสงค์

1. ศึกษาและสรุปโครงสร้างหัวใจของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม
2. สืบค้นข้อมูลและบอกความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับหน้าที่ของหัวใจแต่ละห้อง ลิ้นหัวใจ รวมทั้งหลอดเลือดที่เชื่อมต่อกับหัวใจ
3. สรุปทิศทางการไหลของเลือดผ่านหัวใจ

วัสดุและอุปกรณ์

1. หัวใจหมู หรือหัวใจวัว
2. เครื่องมือผ่าตัด
3. ถาดผ่าตัด
4. ถุงมือยาง
5. แท่งแก้วคนสาร
6. หลอดฉีดยา 20 mL
7. บีกเกอร์ 100 mL
8. น้ำ

วิธีการทำกิจกรรม

ศึกษาหัวใจของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เช่น หมู หรือวัว พร้อมระบุชื่อโครงสร้างต่าง ๆ ของหัวใจที่พบเปรียบเทียบกับรูป 15.5 โดยให้นักเรียนสวมถุงมือยาง และนำหัวใจมาล้างให้สะอาดก่อนดำเนินการดังนี้

1. สังเกตขนาด รูปร่างภายนอกของหัวใจ ลักษณะของเอเทรียมและเวนทริเคิล รวมทั้งหลอดเลือดที่ต่อกับหัวใจและหลอดเลือดบริเวณผิวรอบนอกของหัวใจ
2. สังเกตลักษณะภายนอกของหัวใจเพื่อระบุว่าด้านใดเป็นด้านซ้ายหรือด้านขวา โดยใช้มือบีบเวนทริเคิลเพื่อเปรียบเทียบความหนาของกล้ามเนื้อหัวใจทั้งสองด้าน
3. สังเกตความหนาทั้งสองด้านของผนังหลอดเลือดที่ต่อกับหัวใจ แล้วใช้แท่งแก้วปลายด้านทู่หรือนิ้วมือสอดลงไปตามหลอดเลือดที่พบ เพื่อตรวจสอบว่าหลอดเลือดต่ออยู่กับหัวใจห้องใด แล้วใช้หลอดฉีดยาดูดน้ำฉีดเข้าไปในหลอดเลือดที่บริเวณเอเทรียมขวา สังเกตว่าทิศทางการไหลของน้ำจากเอเทรียมขวาไปยังหลอดเลือดใด จากนั้นทำเช่นเดียวกันกับเอเทรียมซ้าย จะได้ทิศทางการไหลของเลือดผ่านห้องหัวใจและหลอดเลือดที่เกี่ยวข้อง
4. สังเกตลักษณะและจำนวนของลิ้นหัวใจที่กั้นระหว่างเอเทรียมและเวนทริเคิล โดยใช้มีดผ่าจากส่วนปลายเวนทริเคิลขึ้นมาทางด้านบนทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของหัวใจจนถึงรอยต่อระหว่างเวนทริเคิลกับเอเทรียม รวมทั้งสังเกตความหนาของกล้ามเนื้อหัวใจบริเวณเวนทริเคิลซ้ายและเวนทริเคิลขวา
5. สังเกตลักษณะและจำนวนของลิ้นที่กั้นระหว่างหลอดเลือดกับเวนทริเคิลซ้ายและเวนทริเคิลขวา โดยใช้กรรไกรตัดผนังหลอดเลือดตามความยาวจนถึงโคนหลอดเลือด จากนั้นใช้ปากคีบดึงผนังหลอดเลือดให้แยกออกจากกันจนเห็นลิ้นที่อยู่บริเวณโคนหลอดเลือด เปรียบเทียบกับลิ้นที่กั้นระหว่างเอเทรียมกับเวนทริเคิล
6. สังเกตช่องเปิดของหลอดเลือดที่นำเลือดมาเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจที่อยู่บริเวณโคนหลอดเลือดที่ต่อกับเวนทริเคิลซ้าย
7. สืบค้นข้อมูลและสรุปผลการศึกษาโครงสร้างของหัวใจและทิศทางการไหลของเลือดผ่านหัวใจ

คำถามท้ายกิจกรรม

? หลอดเลือดบริเวณผิวรอบนอกของหัวใจทำหน้าที่อะไร

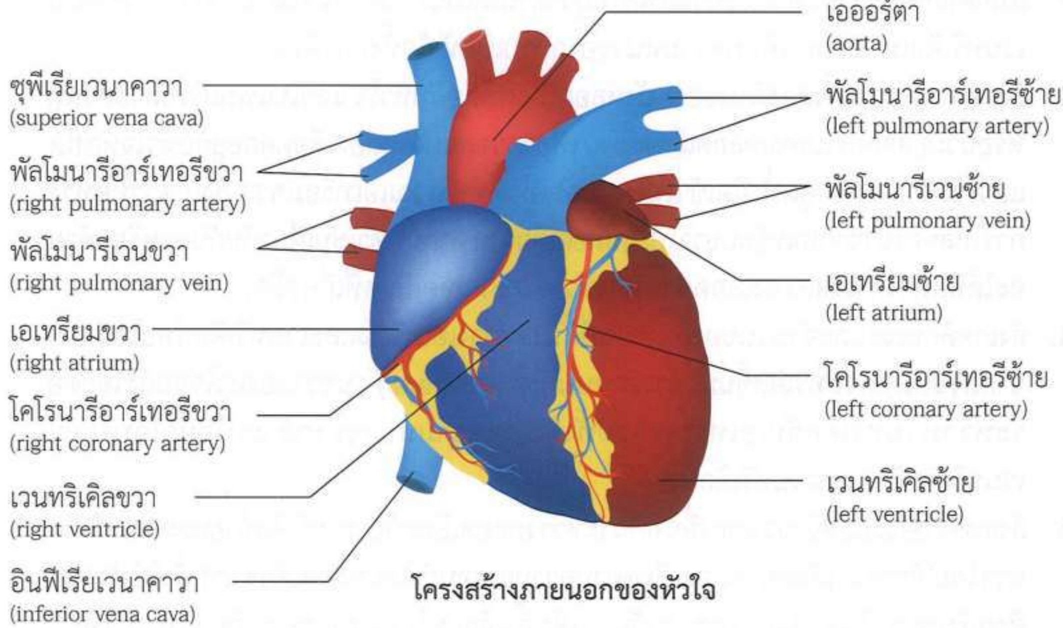
? ความหนาของกล้ามเนื้อหัวใจทั้ง 4 ห้องแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ลักษณะดังกล่าวสัมพันธ์กับการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจอย่างไร

? ลิ้นที่กั้นระหว่างเอเทรียมและเวนทริเคิลมีลักษณะอย่างไร ลักษณะดังกล่าวบอกทิศทางการไหลของเลือดอย่างไร ถ้าลิ้นเหล่านี้ผิดปกติจะมีผลต่อร่างกายอย่างไร

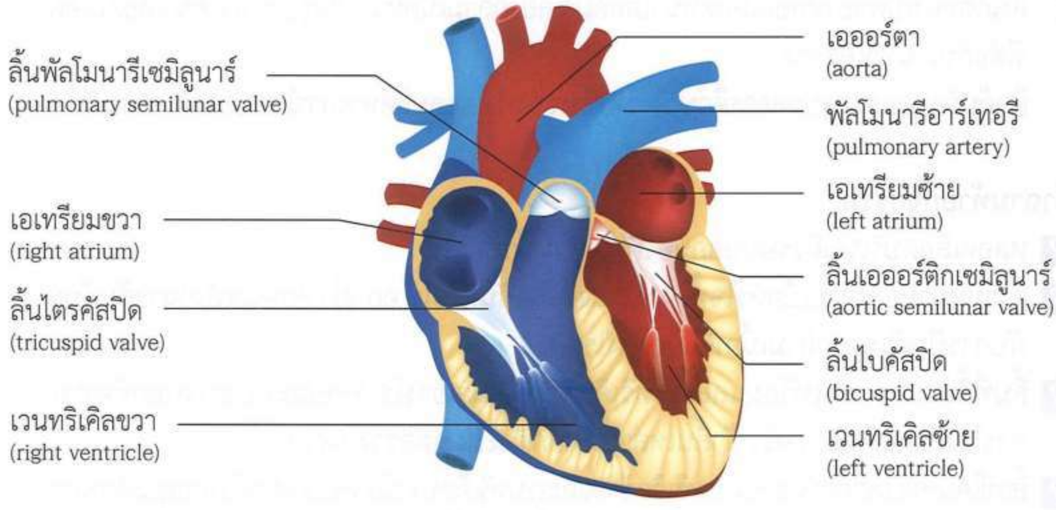
? ลิ้นที่โคนหลอดเลือดที่ต่อกับเวนทริเคิลซ้ายและเวนทริเคิลขวามีลักษณะอย่างไร ลักษณะดังกล่าวบอกทิศทางการไหลของเลือดอย่างไร และถ้าลิ้นเหล่านี้ผิดปกติจะมีผลต่อร่างกายอย่างไร

? เขียนแผนผังแสดงทิศทางการไหลของเลือดผ่านหัวใจ ปอด และเนื้อเยื่อของร่างกาย

จากการทำกิจกรรม 15.1 โครงสร้างของหัวใจสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม พบว่ามีความสอดคล้องกับโครงสร้างของหัวใจมนุษย์ ดังรูป 15.5



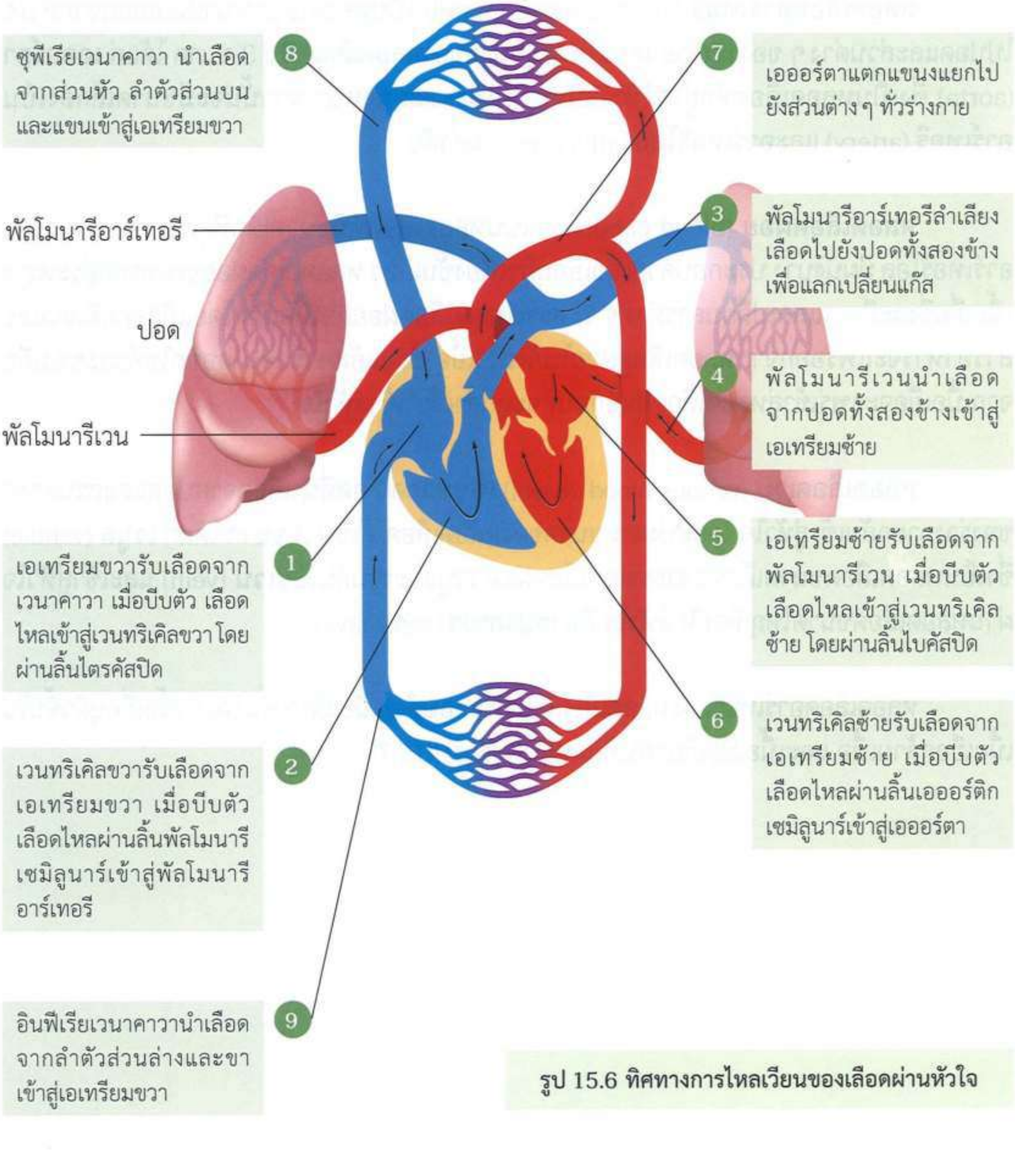
โครงสร้างภายนอกของหัวใจ



โครงสร้างภายในของหัวใจ

รูป 15.5 โครงสร้างของหัวใจมนุษย์

อวัยวะและโครงสร้างต่าง ๆ ของระบบหมุนเวียนเลือด ทำหน้าที่ร่วมกันในการลำเลียงสารไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจจะทำให้เกิดการไหลเวียนของเลือดผ่านหัวใจ ลิ้นหัวใจและหลอดเลือดโดยมีทิศทาง ดังรูป 15.6



รูป 15.6 ทิศทางการไหลเวียนของเลือดผ่านหัวใจ

15.2.2 หลอดเลือด

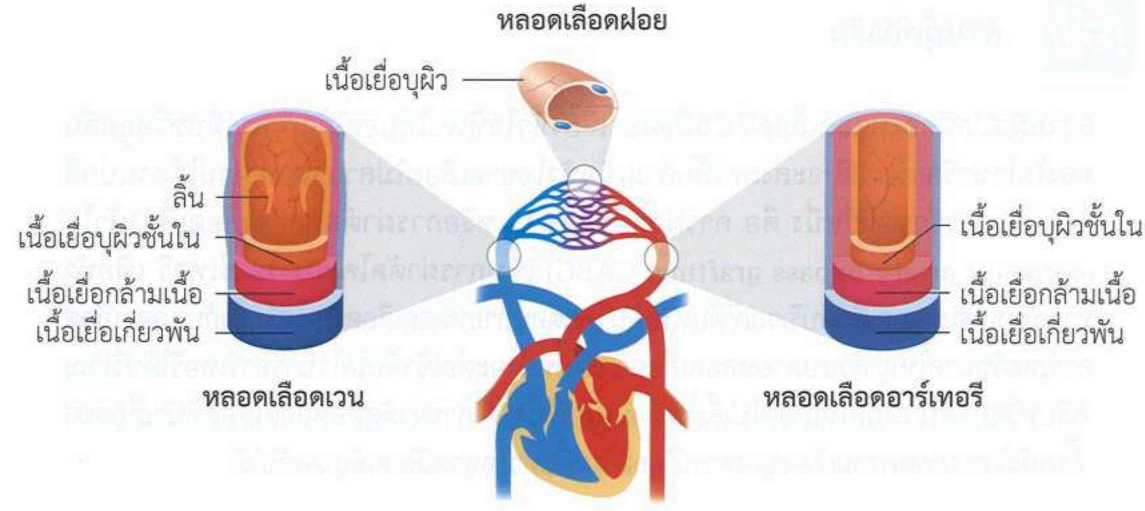
หลอดเลือด มีลักษณะเป็นท่อสำหรับให้เลือดไหลเวียนเพื่อลำเลียงสารต่าง ๆ แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ หลอดเลือดอาร์เทอรี หลอดเลือดฝอย และหลอดเลือดเวน

หลอดเลือดอาร์เทอรี (arterial blood vessel) เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจไปปอดและส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยแบ่งตามขนาดของหลอดเลือดเป็น 3 ขนาด ได้แก่ **เอออร์ตา** (aorta) ซึ่งเป็นหลอดเลือดที่อยู่ใกล้หัวใจมีขนาดใหญ่และผนังหนา จากนั้นจะมีขนาดเล็กลงเป็น **อาร์เทอรี** (artery) และ**อาร์เทอริโอล** (arteriole) ตามลำดับ

หลอดเลือดฝอย (blood capillary) เป็นหลอดเลือดที่มีขนาดเล็กที่สุดแตกแขนงมาจากอาร์เทอริโอล มีผนังบาง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุผิวเพียงชั้นเดียว หลอดเลือดฝอยจะแทรกอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนสารต่าง ๆ ระหว่างหลอดเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อ โดยแก๊สออกซิเจนและสารอาหารจะแพร่ออกจากหลอดเลือดฝอยไปยังเนื้อเยื่อ ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียจากเนื้อเยื่อจะแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยก่อนที่จะถูกลำเลียงเข้าสู่หัวใจ

หลอดเลือดเวน (venous blood vessel) เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดจากปอดและส่วนต่างๆ ของร่างกายกลับเข้าสู่หัวใจ โดยแบ่งตามขนาดของหลอดเลือดได้เป็น 3 ขนาด ได้แก่ **เวนูล** (venule) ซึ่งเป็นหลอดเลือดขนาดเล็กต่อจากหลอดเลือดฝอย เวนูลจะรวมกันเป็น**เวน** (vein) และเข้าสู่หัวใจผ่านหลอดเลือดขนาดใหญ่ที่อยู่ใกล้หัวใจ คือ **เวนาคาวา** (vena cava)

หลอดเลือดอาร์เทอรีและหลอดเลือดเวน ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ เนื้อเยื่อบุผิวชั้นใน เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยืดหยุ่นได้ ดังรูป 15.7

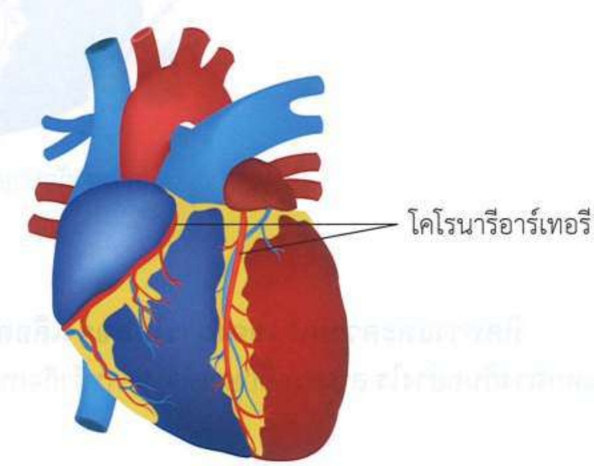


รูป 15.7 โครงสร้างของหลอดเลือด

? จากรูป 15.7 โครงสร้างของหลอดเลือดอาร์เทอรี หลอดเลือดฝอย และหลอดเลือดเวน เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? เลือดในหลอดเลือดอาร์เทอรีส่วนใหญ่จะเป็นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนมาก และเลือดในหลอดเลือดเวนส่วนใหญ่จะเป็นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนน้อย เลือดในหลอดเลือดใดที่ไม่เป็นไปตามนี้ เพราะเหตุใด

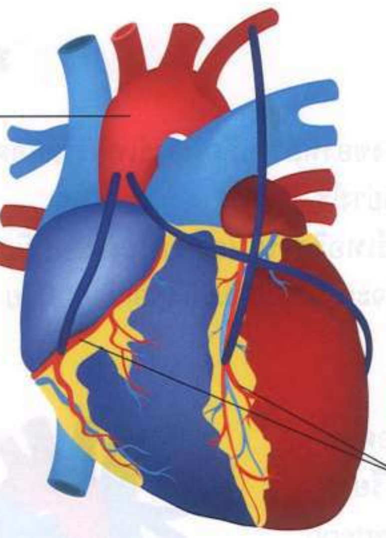
สำหรับหัวใจมีหลอดเลือดที่นำเลือดมาเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ เรียกว่า **โคโรนารีอาร์เทอรี** (coronary artery) ซึ่งมี 2 หลอดคือ หลอดเลือดด้านซ้ายและหลอดเลือดด้านขวา โดยจะแยกออกมาจากโคนของเอออร์ตาและแตกแขนงไปเลี้ยงทั่วทุกส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ ดังรูป 15.8



รูป 15.8 โคโรนารีอาร์เทอรี

ความรู้เพิ่มเติม

ความผิดปกติของหลอดเลือดที่นำเลือดมาเลี้ยงหัวใจที่พบได้บ่อยได้แก่ การตีบหรืออุดตันของโคโรนารีอาร์เทอรี จะส่งผลให้กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ แนวทางการรักษาวิธีหนึ่ง คือ การผ่าตัดบายพาส หรือการผ่าตัดหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ (coronary artery bypass grafting; CABG) เป็นการผ่าตัดโคโรนารีอาร์เทอรี เพื่อทำทางเบี่ยงเสริมหลอดเลือดบริเวณที่ตีบหรือตัน โดยต่อปลายหลอดเลือดข้างหนึ่งเข้ากับหลอดเลือดอาร์เทอรีขนาดใหญ่ ส่วนปลายหลอดเลือดอีกข้างหนึ่งจะต่อเข้ากับโคโรนารีอาร์เทอรีใต้บริเวณที่ตีบหรืออุดตัน ส่งผลให้เลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจได้ การผ่าตัดต่อหลอดเลือดที่นำเลือดมาเลี้ยงหัวใจช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดเฉียบพลันได้



การผ่าตัดบายพาส

ทิศทางและความเร็วของการไหลของเลือดในหลอดเลือดต่างชนิดกันจะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร สามารถศึกษาได้จากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 15.2 การหมุนเวียนเลือดของปลา

จุดประสงค์

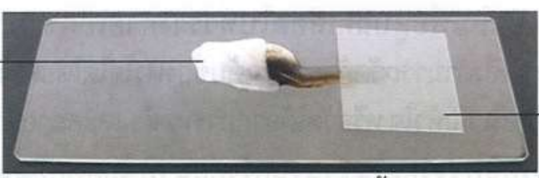
1. สังเกตและอธิบายทิศทางการไหลของเลือดและการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดในหางปลา
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและขนาดของหลอดเลือดกับความเร็วในการไหลของเลือด

วัสดุและอุปกรณ์

1. ปลาขนาดเล็ก เช่น ปลาหางนกยูงเพศเมีย ลูกปลานิล
2. สำลี
3. น้ำ
4. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
5. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

วิธีการทำกิจกรรม

1. วางปลาบนสไลด์ ใช้สำลีชุบน้ำวางคลุมบริเวณหัวของปลา แล้วนำกระจกปิดสไลด์วางทับบริเวณหาง ดังรูป



ข้อควรระวัง ต้องให้สำลีชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา

2. นำสไลด์ไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำสังเกตบริเวณหางปลาเพื่อศึกษาขนาดของหลอดเลือด ทิศทาง ความเร็วของการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดแดง และการเรียงตัวของเซลล์เม็ดเลือดแดง

คำถามท้ายกิจกรรม

? ทิศทางการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดแดงในหลอดเลือดต่าง ๆ เป็นอย่างไร

? การเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดแดงในหลอดเลือดมีความเร็วเท่ากันทุกหลอดเลือดหรือไม่ อย่างไร

? สังเกตได้อย่างไรว่าหลอดเลือดใดเป็นหลอดเลือดอาร์เทอรีหรือหลอดเลือดเวน

ตรวจสอบความเข้าใจ

? การไหลของเลือดในหลอดเลือดฝอย ขนาดหลอดเลือดฝอย และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

เลือดในหลอดเลือดอาร์เทอรีไหลออกจากหัวใจ ส่วนเลือดในหลอดเลือดเวนไหลกลับเข้าสู่หัวใจ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดแดงในหลอดเลือดอาร์เทอรีเร็วกว่าหลอดเลือดเวน ส่วนในหลอดเลือดฝอยเซลล์เม็ดเลือดแดงจะไหลเรียงกันด้วยความเร็วต่ำสุด ในหลอดเลือดชนิดเดียวกัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดแดงในหลอดเลือดที่มีขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าในหลอดเลือดขนาดเล็ก

? เลือดที่ไหลผ่านหัวใจของปลาเป็นเลือดที่มีแก๊สออกซิเจนมากหรือน้อย เพราะเหตุใด

การทำงานของหัวใจเพื่อสูบฉีดเลือดไปทั่วร่างกายเกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเป็นจังหวะ ซึ่งสามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยตรงด้วยการฟังที่ใช้**สเตตโตสโคป** (stethoscope) แนบที่อกบริเวณหัวใจ หรือวัดได้จากการหดตัวและคลายตัวของผนังหลอดเลือดอาร์เทอรี ซึ่งเรียกว่า ชีพจร การวัดชีพจรวัดเป็นจำนวนครั้งต่อนาที โดยปกติมนุษย์มีอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 60-100 ครั้งต่อนาที และอัตราการเต้นของหัวใจในแต่ละบุคคลจะมีความแตกต่างกัน **ปัจจัยอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเต้นของหัวใจ** สามารถศึกษาได้จากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรมเสนอแนะ : การวัดชีพจร

จุดประสงค์

1. วางแผน ออกแบบการทดลอง และทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเต้นของหัวใจกับการเปลี่ยนแปลงของชีพจร
2. จัดกระทำข้อมูล วิเคราะห์ สรุปและนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

วิธีการทำกิจกรรม

1. ออกแบบการทดลองและทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเต้นของหัวใจ เช่น เพศ อายุ น้ำหนักของร่างกาย และกิจกรรมที่ทำ
2. นำเสนอข้อมูลที่ได้ในชั้นเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายว่าปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจอย่างไร

ความรู้เพิ่มเติม

การวัดชีพจรสามารถวัดได้หลายบริเวณ เช่น ข้อมือ ข้อพับ และคอ เพราะเป็นบริเวณที่มีหลอดเลือดอาร์เทอรีอยู่ใกล้กับผิวหนัง ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดโดยใช้นิ้วชี้และนิ้วกลางของมือข้างหนึ่งวางบริเวณที่ต้องการวัดและกดจนรู้สึกถึงการเต้นของชีพจร ดังรูป



บริเวณข้อมือ

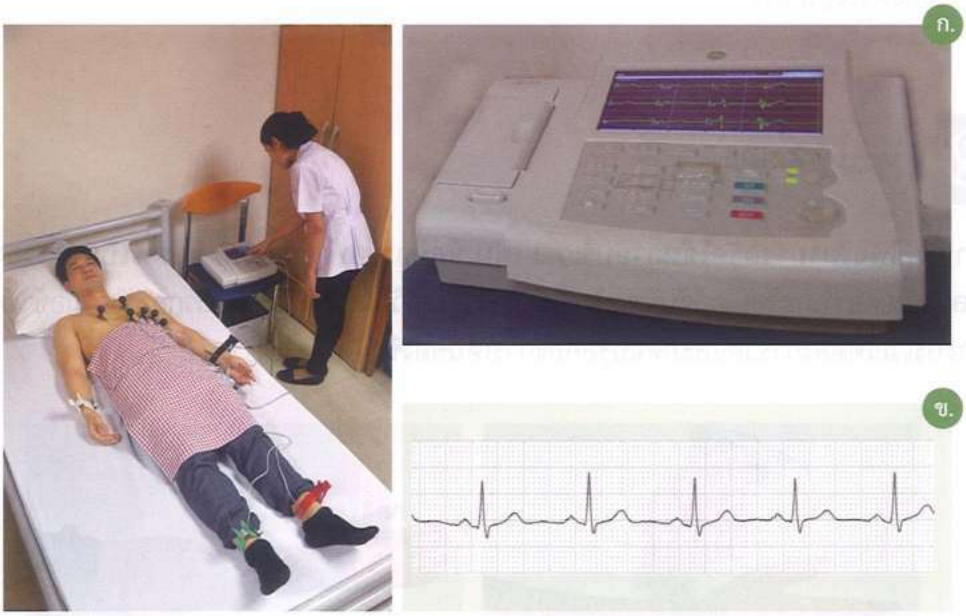


บริเวณข้อพับ



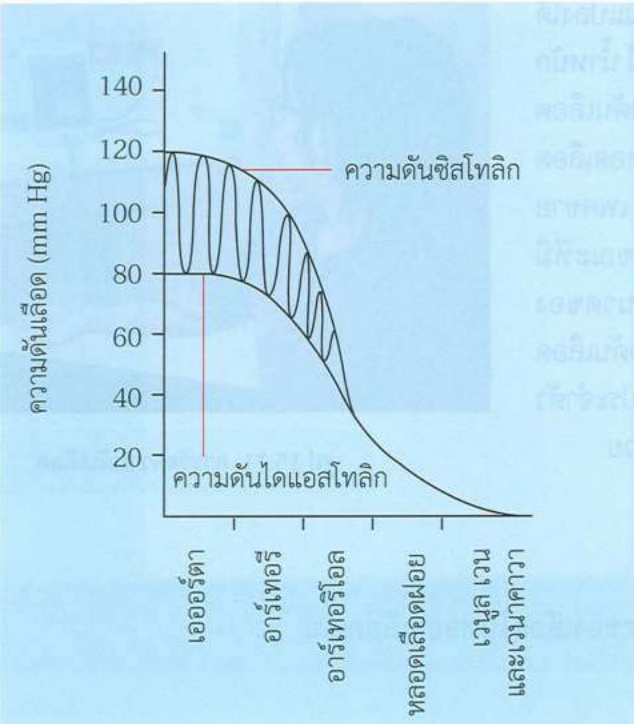
บริเวณคอ

นอกจากนี้การทำงานของหัวใจสามารถวัดได้ด้วย**เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ** (electrocardiograph) โดยการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะบันทึกเป็นเส้นกราฟ เรียกว่า **คลื่นไฟฟ้าหัวใจ** (electrocardiogram; ECG หรือ EKG) ดังรูป 15.9 ซึ่งสามารถใช้ในการวินิจฉัยความผิดปกติของการทำงานของหัวใจได้



รูป 15.9 การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
ก. เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ข. คลื่นไฟฟ้าหัวใจของคนปกติ

การหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อนำเลือดออกจากเวนทริเคิลซ้ายทำให้เกิดความดันในหลอดเลือดที่แตกต่างกัน โดยความดันเลือดจะสูงมากในหลอดเลือดอาร์เทอรีที่อยู่ใกล้หัวใจ และจะลดลงเมื่อห่างจากหัวใจออกไป ในหลอดเลือดฝอยและหลอดเลือดเวนความดันเลือดจะต่ำลงมาก ดังรูป 15.10



รูป 15.10 ความดันเลือดในหลอดเลือดต่าง ๆ

? การวัดชีพจรสามารถวัดจากหลอดเลือดเวนได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

? ถ้าร่างกายได้รับอุบัติเหตุแล้วเสียเลือดมาก การไหลเวียนของเลือดในร่างกายจะเป็นอย่างไร

โดยปกติผู้ใหญ่จะมีความดันเลือดประมาณ 120/80 มิลลิเมตรปรอท ตัวเลขตัวแรกหมายถึงค่าความดันเลือดสูงสุดขณะที่กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวเรียกว่า **ความดันซิสโทลิก** (systolic pressure) หรือค่าบน ตัวเลขตัวหลังหมายถึงความดันเลือดขณะที่กล้ามเนื้อหัวใจคลายตัวเรียกว่า **ความดันไดแอสโทลิก** (diastolic pressure) หรือค่าล่าง ความดันเลือดในหลอดเลือดต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกัน ความดันเลือดมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เซลล์ของร่างกายได้รับแก๊สออกซิเจนและสารต่าง ๆ จากเลือด การวัดความดันเลือดจะวัดจากหลอดเลือดที่อยู่ใกล้หัวใจ เพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับความดันเลือดในหัวใจมากที่สุด หลอดเลือดที่เหมาะสมสำหรับวัดความดันคือ หลอดเลือดอาร์เทอรีที่ต้นแขน ดังรูป 15.11

ค่าความดันเลือดในคนปกติจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ เพศ อารมณ์ น้ำหนักร่างกาย และสภาพของร่างกาย โดยความดันเลือดของผู้สูงอายุจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากผนังของหลอดเลือดมีความยืดหยุ่นน้อยลง ส่วนในวัยหนุ่มสาว เพศชายมักจะมีความดันเลือดสูงกว่าเพศหญิง ขณะที่มีความเครียดมักจะมีความดันเลือดสูง ขนาดของร่างกายก็เช่นเดียวกัน คนอ้วนมักจะมีความดันเลือดสูงกว่าคนผอม อาหารที่รับประทานและโรคประจำตัวบางโรคมีส่วนเกี่ยวข้องกับความดันเลือดด้วย



รูป 15.11 การวัดความดันเลือด

กิจกรรม 15.3 ทิศทางการไหลของเลือดในหลอดเลือดเวน

จุดประสงค์

1. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดขณะปกติและขณะถูกกด และแปลความหมายจากผลที่สังเกต
2. สรุปทิศทางการไหลของเลือดในหลอดเลือดเวน เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดเลือดอาร์เทอรี

วัสดุและอุปกรณ์

ผ้าสำหรับมัดต้นแขน

วิธีการทำกิจกรรม

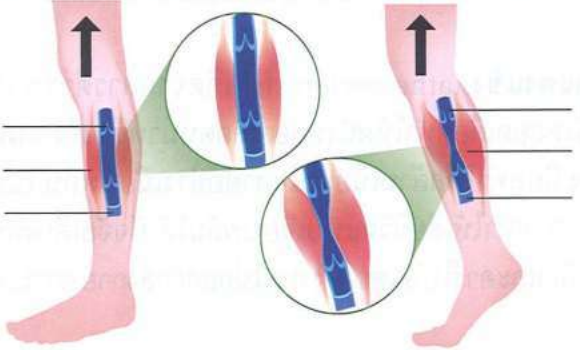
1. ใช้ผ้ามัดต้นแขนให้แน่นจนสังเกตเห็นหลอดเลือดปรากฏชัดเจน
   - ? เพราะเหตุใดเมื่อใช้ผ้ามัดต้นแขนแล้ว หลอดเลือดจึงปรากฏชัดเจนขึ้น
   - ? การไหลของเลือดในหลอดเลือดที่ปรากฏ น่าจะมีทิศทางจากปลายแขนไปยังต้นแขนหรือจากต้นแขนไปยังปลายแขน
2. กดหลอดเลือดที่เห็นชัดเจนด้วยนิ้ว 2 นิ้ว (นิ้ว ก. และนิ้ว ข.) ดังรูปที่ 2 ใช้นิ้ว ข.ไล่เลือดไปทางต้นแขน สังเกตหลอดเลือดระหว่างนิ้วทั้งสอง ดังรูป



3. ปล่อยนิ้ว ข. ออก แล้วสังเกตผล
   - ? ก่อนปล่อยนิ้ว ข. ลักษณะของหลอดเลือดเป็นอย่างไร
   - ? เมื่อปล่อยนิ้ว ข. ลักษณะของหลอดเลือดเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

4. ปฏิบัติตามข้อ 2 อีกครั้งหนึ่ง แต่คราวนี้ปล่อยนิ้ว ก. แทนนิ้ว ข.
   - ? เมื่อปล่อยนิ้ว ก. ลักษณะของหลอดเลือดเป็นอย่างไร
   - ? ทิศทางการไหลของเลือดในหลอดเลือดที่ศึกษาเป็นอย่างไร
   - ? ในกรณีที่เลือดไหลไปทางเดียวกันไม่มีการไหลย้อนกลับ โครงสร้างภายในของหลอดเลือดควรมีลักษณะอย่างไร

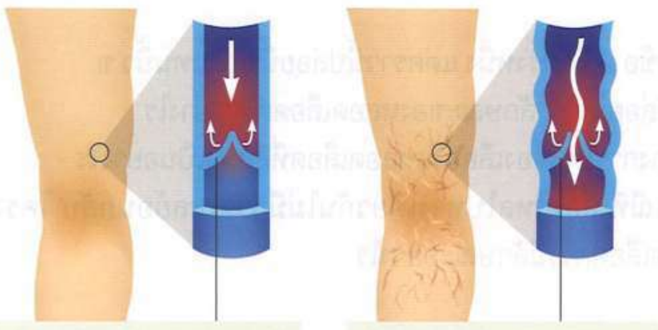
หลอดเลือดเวนจะมีลิ้น (valve) อยู่ภายในเป็นระยะ ระหว่างหลอดเลือดเวนจะมีมัดกล้ามเนื้ออยู่ เมื่อมัดกล้ามเนื้อหดตัวมีผลทำให้หลอดเลือดเวนถูกบีบแคบลง ความดันในหลอดเลือดเวนจะเพิ่มขึ้น ดันลิ้นในหลอดเลือดเวนด้านบนให้เปิดออกทำให้เลือดไหลสู่หลอดเลือดเวนด้านบนต่อไป แต่ลิ้นส่วนล่างของหลอดเลือดเวนเมื่อได้รับความดันของเลือดจะไม่เปิดทำให้เลือดไม่ไหลกลับลงไปด้านล่าง



รูป 15.12 การทำงานของลิ้นในหลอดเลือดเวน

ความรู้เพิ่มเติม

หลอดเลือดขอด (varicose vein) เป็นความผิดปกติของหลอดเลือดเวนบริเวณใกล้ชั้นผิวหนังที่ขยายตัวจนบวม และมีเลือดมาสะสมมากจนหลอดเลือดมีสีม่วงเข้ม คดเคี้ยวและนูน สาเหตุเกิดจากผนังหลอดเลือดและลิ้นภายในหลอดเลือดเวนที่ควบคุมการไหลของเลือดทำงานผิดปกติหรือเสื่อมสภาพ ทำให้เลือดไหลย้อนกลับส่งผลให้เลือดสะสมในหลอดเลือดและเกิดอาการบวม หลอดเลือดขอดมักเป็นที่บริเวณน่อง ดังรูป เนื่องจากการยืนเป็นเวลานานส่งผลให้เลือดไหลกลับไปที่หัวใจได้ยากขึ้น อาการจะดีขึ้นเมื่อได้เดินหรือพักขาด้วยการยกขาขึ้น



การทำงานของโครงสร้างต่าง ๆ ในระบบหมุนเวียนเลือดหากผิดปกติไปอาจก่อให้เกิดโรคได้

โรคหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) เกิดจากสารต่าง ๆ เช่น คอเลสเตอรอลและแคลเซียม มาเกาะที่ผนังหลอดเลือดทำให้ผนังหลอดเลือดหนาหรือแข็ง จนหลอดเลือดตีบ ซึ่งถ้าเกิดกับโคโรนารีอาร์เทอรีจะมีผลทำให้กล้ามเนื้อหัวใจตายอย่างเฉียบพลัน เนื่องจากขาดเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ บางรายอาจทำให้เสียชีวิตแบบเฉียบพลันได้ ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคมาจากการรับประทานอาหารที่มีลิพิดและคาร์โบไฮเดรตสูง การไม่ออกกำลังกาย ความเครียด รวมทั้งการสูบบุหรี่

โรคหลอดเลือดสมอง เป็นภาวะที่สมองขาดเลือดไปเลี้ยง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ **หลอดเลือดสมองตีบหรืออุดตัน** (ischemic stroke) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของโรคหลอดเลือดสมอง โดยเกิดจากลิ่มเลือดอุดตันที่หลอดเลือดสมอง หรืออาจเกิดจากการสะสมของลิพิดในหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดตีบแคบ และ**หลอดเลือดสมองปริแตกหรือฉีกขาด** (hemorrhagic stroke) เกิดจากหลอดเลือดมีความเปราะบางร่วมกับภาวะความดันเลือดสูงส่งผลให้หลอดเลือดโป่งหรือปริแตกได้ง่าย ทำให้เลือดออกในสมองและปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงสมองลดลงอย่างเฉียบพลัน ส่งผลให้ผู้ป่วยเสียชีวิตในเวลาอันรวดเร็วได้

โรคหัวใจอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ลิ้นหัวใจรั่วหรือตีบ หลอดเลือดหัวใจตีบ หลอดเลือดหัวใจอุดตัน หัวใจโต ทำให้การหมุนเวียนเลือดผิดปกติ ส่วนใหญ่ในระยะสุดท้ายของโรคหัวใจทุกชนิดคือเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว

ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคหัวใจ ได้แก่ การได้รับสารทาร์และนิโคตินจากบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ การเสพสารเสพติด การบริโภคอาหารที่มีลิพิดสูง การไม่ออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่มากเกินไป และการมีอารมณ์รุนแรงหรือเครียด รวมทั้งการสะสมลิพิดที่ผนังหลอดเลือด โรคบางอย่าง เช่น โรคไตจะส่งผลให้ความดันเลือดสูงซึ่งมีผลต่อการทำงานของหัวใจ ดังนั้นจึงควรจะหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ เหล่านี้

ความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์ที่อาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้ป่วยที่เป็นโรคเกี่ยวกับหัวใจ เช่น กรณีที่หัวใจเต้นช้ากว่าปกติและไม่สม่ำเสมอ แพทย์จะใส่**เครื่องกระตุ้นการเต้นของหัวใจ** (artificial pacemaker) เครื่องนี้จะทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าไปกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหัวใจทำงานได้เป็นปกติ ปัจจุบันสามารถประดิษฐ์ลิ้นหัวใจเทียม เพื่อนำมาเปลี่ยนให้คนไข้ที่มีลิ้นหัวใจผิดปกติได้

ความรู้เพิ่มเติม

CPR (cardiopulmonary resuscitation) คือการช่วยฟื้นคืนชีพด้วยวิธีปั๊มหัวใจ ทำให้หัวใจกลับมาเต้นได้อีก และช่วยฟื้นการทำงานของระบบหมุนเวียนเลือดที่หยุดกะทันหัน จนกว่าจะได้รับการช่วยเหลือทางการแพทย์ การทำ CPR ทันทีหลังจากที่ผู้ป่วยอยู่ในภาวะหัวใจหยุดเต้น เช่น หัวใจวาย หรือจมน้ำ ซึ่งเป็นภาวะที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสมองอย่างถาวร อาจเพิ่มโอกาสรอดชีวิตได้มากขึ้น

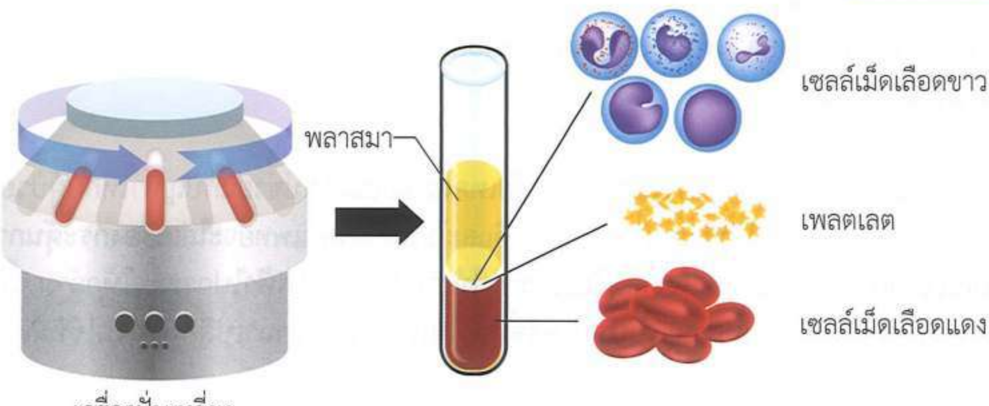
15.2.3 เลือด

ในร่างกายมนุษย์มีเลือดอยู่ประมาณร้อยละ 7-8 ของน้ำหนักตัว เลือดทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารและแก๊สออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และยังนำของเสียที่เซลล์ไม่ต้องการและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปกำจัดออกนอกร่างกาย เลือดจึงมีความสำคัญต่อการรักษาดุลยภาพของร่างกาย

ส่วนประกอบของเลือด

ถ้านำเลือดใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นนำไปปั่นแยก จะพบว่าเลือดจะมีการตกตะกอน แบ่งเป็นส่วน ๆ คือ **พลาสมา** (plasma) **เซลล์เม็ดเลือดขาว** (leukocyte) เกล็ดเลือดหรือ**เพลตเลต** (platelet) และ**เซลล์เม็ดเลือดแดง** (erythrocyte) ดังรูป 15.13

ipst.me/9204



รูป 15.13 ส่วนประกอบของเลือดที่ผ่านการปั่นแยก

พลาสมาพบประมาณร้อยละ 55 ของปริมาณเลือดทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 45 เป็นเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเพลตเลต ซึ่งจะได้ศึกษาลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดจากการทำกิจกรรม 15.4

กิจกรรม 15.4 ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดของมนุษย์

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูล เปรียบเทียบรูปร่างลักษณะและปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเพลตเลต

วัสดุและอุปกรณ์

1. สไลด์ถาวรเซลล์เม็ดเลือดของมนุษย์
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำสไลด์ถาวรเซลล์เม็ดเลือดของมนุษย์มาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ กำลังขยายสูง
2. สังเกตลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดและวาดรูป

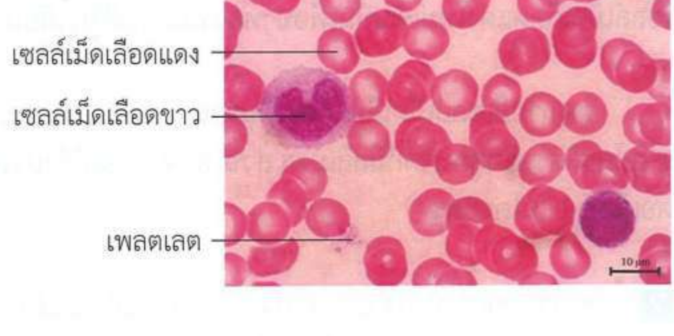
คำถามท้ายกิจกรรม

? เซลล์เม็ดเลือดที่สังเกตมีกี่ชนิด แต่ละชนิดมีขนาด รูปร่าง และปริมาณแตกต่างกันอย่างไร

? เซลล์เม็ดเลือดขาวแต่ละชนิดมีโครงสร้างภายในเซลล์เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? นอกจากเซลล์เม็ดเลือดแล้ว สังเกตเห็นส่วนประกอบอื่นหรือไม่ มีลักษณะอย่างไร

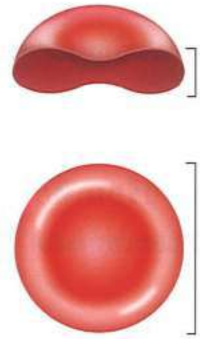
จากกิจกรรม 15.4 จะเห็นว่า เซลล์เม็ดเลือดมีลักษณะ และรูปร่างต่าง ๆ กันประกอบด้วย เซลล์เม็ดเลือดแดงและเซลล์เม็ดเลือดขาว นอกจากเซลล์เม็ดเลือดแล้วยังมีเพลตเลตด้วย ดังรูป 15.14



รูป 15.14 เซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเพลตเลตของมนุษย์

เซลล์เม็ดเลือดแดง

เซลล์เม็ดเลือดแดงทำหน้าที่ลำเลียงแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเจริญเต็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-8 ไมโครเมตร หนาประมาณ 2 ไมโครเมตร รูปร่างกลมแบน ตรงกลางบุ๋ม ไม่มีนิวเคลียสและไมโทคอนเดรีย ดังรูป 15.15



รูป 15.15 ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดง

การที่เซลล์เม็ดเลือดแดงมีสีแดงเนื่องจากภายในเซลล์มีฮีโมโกลบินซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีความสามารถในการจับกับแก๊สต่าง ๆ เช่น แก๊สออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ ในระยะเอ็มบริโอเซลล์เม็ดเลือดแดงสร้างจากตับ ม้าม และ ไขกระดูก แต่ใน**ฟีตัส** (fetus) ระยะใกล้คลอดจนเติบโตเป็นผู้ใหญ่จะสร้างเฉพาะในไขกระดูก โดยเซลล์เม็ดเลือดแดงที่สร้างขึ้นใหม่ ๆ เป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียส แต่เมื่อเจริญเต็มที่นิวเคลียสจะถูกดันหลุดออกไปและออร์แกเนลล์ส่วนใหญ่จะสลายไป ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงที่เจริญเติบโตเต็มที่ไม่มีนิวเคลียสแต่มีฮีโมโกลบินและมีเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์

เซลล์เม็ดเลือดแดงมีอายุประมาณ 100-120 วัน หลังจากนั้นจะถูกทำลายที่ตับและม้าม ตลอดอายุขัยของมนุษย์จะมีการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงทดแทนอยู่เสมอ เมื่อร่างกายเสียเลือดไม่มากนัก เช่น จากการถูกของมีคมบาดหรือการบริจาคเลือด ร่างกายจะนำเซลล์เม็ดเลือดแดงที่สะสมไว้ที่ม้ามออกมาทดแทนได้ทันที ขณะเดียวกันร่างกายก็จะสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงใหม่เพิ่มขึ้นเพื่อมาทดแทนส่วนที่สูญเสียไป

ร่างกายมีเซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นจำนวนมาก โดยเพศชายมีประมาณ 5-5.5 ล้านเซลล์ต่อเลือด 1 ไมโครลิตรหรือลูกบาศก์มิลลิเมตร ส่วนเพศหญิงจะมีจำนวนน้อยกว่าคือ ประมาณ 4.5-5 ล้านเซลล์ต่อเลือด 1 ไมโครลิตร

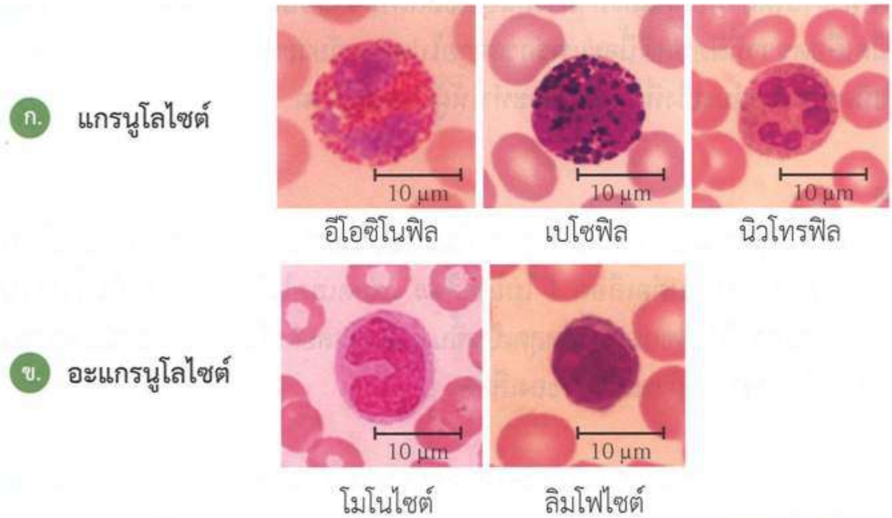
? การที่เซลล์เม็ดเลือดแดงไม่มีนิวเคลียสและมีลักษณะกลมแบน ตรงกลางบุ๋มนั้นมีความเหมาะสมต่อหน้าที่อย่างไร

? เซลล์เม็ดเลือดแดงที่อยู่ในหลอดเลือดได้รับพลังงานมาจากขั้นตอนใดของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เพราะเหตุใด

ในกรณีที่เซลล์เม็ดเลือดแดงมีความผิดปกติ เช่น มีปริมาณลดลง หรือรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป อาจส่งผลให้ร่างกายเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น ธาลัสซีเมีย และโรคโลหิตจางชนิดซิกเกิลเซลล์

เซลล์เม็ดเลือดขาว

เซลล์เม็ดเลือดขาวทำหน้าที่ป้องกันและทำลายเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เมื่อเจริญเต็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-20 ไมโครเมตร มีจำนวนน้อยกว่าเซลล์เม็ดเลือดแดงคือ มีจำนวนประมาณ 5,000-10,000 เซลล์ต่อเลือด 1 ไมโครลิตร สร้างและเจริญที่ไขกระดูก แต่บางชนิดจะเจริญต่อจนสมบูรณ์ในไทมัส เซลล์เม็ดเลือดขาวส่วนใหญ่มีอายุประมาณ 2-3 วัน มีหลายชนิดซึ่งมีลักษณะ และมีหน้าที่แตกต่างกันซึ่งจะได้ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องระบบภูมิคุ้มกัน เซลล์เม็ดเลือดขาวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีแกรนูลเฉพาะเรียกว่า **แกรนูโลไซต์** (granulocyte) และกลุ่มที่ไม่มีแกรนูลเฉพาะเรียกว่า **อะแกรนูโลไซต์** (agranulocyte) ดังรูป 15.16



รูป 15.16 ชนิดของเซลล์เม็ดเลือดขาว

แกรนูโลไซต์เป็นเซลล์ที่นิวเคลียสมีรูปร่างหลายแบบ นิวเคลียสมีลักษณะเป็นพู จำนวนมากกว่า 1 พู สร้างจากไขกระดูก มีไซโทพลาซึมค่อนข้างมากและมีแกรนูลกระจายอยู่ทั่วไปในไซโทพลาซึม เมื่อนำมาย้อมสีจะมีลักษณะแตกต่างกัน แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ **อีโอซิโนฟิล** (eosinophil) มีแกรนูลสีส้มแดง และ**เบโซฟิล** (basophil) มีแกรนูลสีน้ำเงิน ทั้ง 2 ชนิดนี้ทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมโดยการหลั่งเอนไซม์หรือสารเคมี ส่วน**นิวโทรฟิล** (neutrophil) มีแกรนูลสีม่วงชมพู ทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมโดยวิธีฟาโกไซโทซิส

อะแกรนูโลไซต์เป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ จำนวน 1 พู นิวเคลียสมีลักษณะกลมหรือคล้ายรูปไต อะแกรนูโลไซต์ มี 2 ชนิดคือ **โมโนไซต์** (monocyte) และ**ลิมโฟไซต์** (lymphocyte) โมโนไซต์เมื่อแทรกออกจากหลอดเลือดสู่เนื้อเยื่อต่างๆ จะเจริญเป็นแมโครฟาจ มีหน้าที่ทำลายเชื้อโรคโดยวิธีฟาโกไซโทซิส ส่วนลิมโฟไซต์ทำหน้าที่เกี่ยวกับภูมิคุ้มกันของร่างกาย

การตรวจหาปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวช่วยในการวินิจฉัยโรคได้ กรณีที่ร่างกายได้รับเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมจะตรวจพบปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวที่เพิ่มขึ้น แต่ในโรคบางชนิดปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวจะลดลง เช่น **โรคเอดส์** (AIDS: acquired immune deficiency syndrome) ที่เกิดจากการติดเชื้อ HIV (human immunodeficiency virus)

ถ้าการสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวของไขกระดูกผิดปกติอาจทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับเลือดได้ เช่น โรคมะเร็งเซลล์เม็ดเลือดขาว หรือ **ลิวคีเมีย** (leukemia) ซึ่งเป็นอันตรายมาก เพราะเซลล์เม็ดเลือดขาวเหล่านี้ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติและสามารถแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนโดยปราศจากการควบคุมของร่างกาย เซลล์เม็ดเลือดขาวที่ผิดปกตินี้จะแพร่กระจายไปตามอวัยวะต่าง ๆ ทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการผิดปกติตามแต่ชนิดของเซลล์มะเร็งที่เกิดขึ้น และทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิต

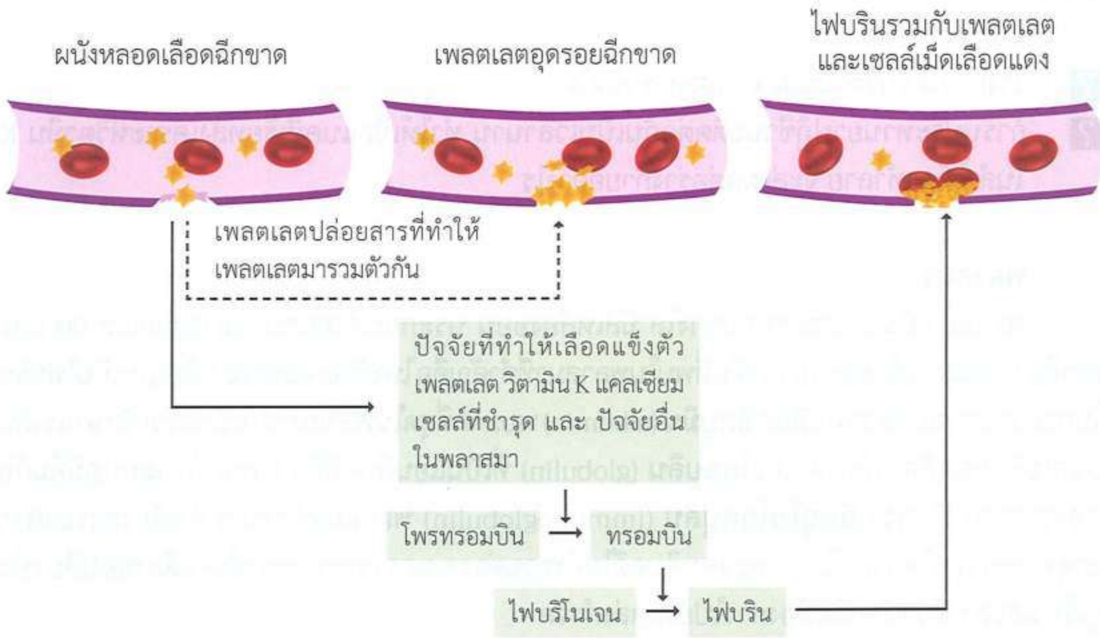
เพลตเลต

เพลตเลตหรือเกล็ดเลือด มีขนาดเล็กมาก รูปร่างไม่แน่นอน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 ไมโครเมตร มีจำนวน 250,000-400,000 ชิ้นต่อเลือด 1 ไมโครลิตร เพลตเลตไม่ใช่เซลล์แต่เป็นชิ้นส่วนของไซโทพลาซึมของเซลล์ชนิดหนึ่งในไขกระดูกที่หลุดเป็นชิ้น ๆ เข้าสู่หลอดเลือด เพลตเลตมีอายุประมาณ 10 วัน เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการแข็งตัวของเลือด

ในกรณีที่หลอดเลือดเกิดการฉีกขาด เลือดจะไหลออกจากหลอดเลือด ถ้าเลือดไหลออกมาไม่หยุดอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ โดยทั่วไปเลือดจะไหลออกจากบาดแผลระยะหนึ่งแล้วมักจะหยุดไหลได้เองทั้งนี้เพราะร่างกายมีกระบวนการที่เรียกว่า **การแข็งตัวของเลือด** (blood clotting) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อนและต่อเนื่องกัน ดังนี้

เมื่อผนังของหลอดเลือดฉีกขาด เพลตเลตจะเคลื่อนที่มายังบริเวณที่หลอดเลือดฉีกขาดนี้ และจะปล่อยสารบางชนิดที่ดึงดูดเพลตเลตมารวมตัวกันอุดผนังหลอดเลือดที่ฉีกขาด นอกจากนี้ยังมีสารที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ที่ได้รับอันตราย ซึ่งเมื่อประกอบกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ช่วยในการแข็งตัวของเลือดจะกระตุ้นให้**โพรทรอมบิน** (prothrombin) ในพลาสมาเปลี่ยนเป็น**ทรอมบิน** (thrombin) ซึ่ง

ทรอมบินเป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยน**ไฟบริโนเจน** (fibrinogen) ในพลาสมาให้เป็น**ไฟบริน** (fibrin) สานกันเป็นร่างแหโปรตีนโดยจะรวมกับเพลตเลตและเซลล์เม็ดเลือดแดงไปอุดรอยฉีกขาดป้องกันการไหลของเลือดออกทางแผล ดังรูป 15.17



รูป 15.17 การแข็งตัวของเลือด

คนที่เป็น**โรคฮีโมฟิเลีย** (hemophilia) เมื่อเกิดบาดแผลเลือดจะไม่แข็งตัว หรือแข็งตัวได้ช้า ซึ่งเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยยีนที่อยู่บนโครโมโซม X ทำให้ไม่สามารถสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดได้ครบหรือเพียงพอ เมื่อเกิดบาดแผลจึงทำให้เสียเลือดมาก

รู้หรือไม่

ปลิงและทากดูดเลือดเมื่อเกาะที่ผิวหนังมนุษย์หรือสัตว์ แล้วสามารถดูดเลือดได้มากและนาน โดยเลือดไม่มีการแข็งตัว ถ้าดึงตัวปลิงออกไปแล้วเลือดก็ยังคงไหลไม่หยุด เพราะในน้ำลายปลิงมีสาร ฮิรูดิน (hirudin) ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ขณะที่ปลิงดูดเลือดก็จะปล่อยสารนี้ออกมาที่บาดแผลทำให้เลือดไหลไม่หยุด

โปรตีนและเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าที่ในการแข็งตัวของเลือดสร้างจากตับ ถ้าตับผิดปกติ เช่น เป็นโรคตับแข็ง ตับอักเสบ สารที่ช่วยในการแข็งตัวของเลือดอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้เลือดหยุดไหลได้ นอกจากนี้ถ้าร่างกายขาดวิตามิน K ก็จะมีผลต่อการแข็งตัวของเลือดในกรณีที่มีบาดแผลเช่นกัน

? ร่างกายได้รับวิตามิน K จากอาหารชนิดใด

? ถ้ารับประทานยาปฏิชีวนะติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้เชื้อแบคทีเรียที่สังเคราะห์วิตามิน K ในลำไส้ถูกทำลาย จะส่งผลต่อร่างกายอย่างไร

พลาสมา

พลาสมาเป็นของเหลวค่อนข้างใส มีสีเหลืองอ่อน ประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 90 และสารอื่น ๆ ประมาณร้อยละ 10 โปรตีนที่พบในพลาสมาที่สำคัญคือไฟบริโนเจนซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นไฟบรินในกระบวนการแข็งตัวของเลือด **อัลบูมิน** (albumin) พบมากที่สุดในพลาสมาทำหน้าที่ช่วยรักษาแรงดันออสโมติกของเลือดให้คงที่ และ**โกลบูลิน** (globulin) ที่เป็นแอนติบอดีที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เรียกว่า **อิมมูโนโกลบูลิน** (immunoglobulin) พลาสมาทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหาร ธาตุอาหาร เอนไซม์ ฮอร์โมน และแอนติบอดีไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รวมทั้งลำเลียงของเสีย เช่น ยูเรีย และสารที่ร่างกายไม่ต้องการไปยังแหล่งกำจัด

ถ้าเจาะเลือดออกมาแล้วปล่อยให้แข็งตัวก่อนนำไปปั่นแยก ส่วนที่เป็นของเหลวใสเรียกว่า **ซีรัม** (serum)

? ซีรัมและพลาสมามีส่วนประกอบแตกต่างกันอย่างไร

หมู่เลือดและการให้เลือด

หมู่เลือดของมนุษย์มีหลายระบบ แต่ที่สำคัญกับการให้และรับเลือด มี 2 ระบบ คือ หมู่เลือดระบบ ABO และ หมู่เลือดระบบ Rh

ipst.me/9203

หมู่เลือดระบบ ABO

การจำแนกเลือดหมู่ต่าง ๆ ในหมู่เลือดระบบ ABO จำแนกตามชนิดของไกลโคโปรตีนหรือ **แอนติเจน** (antigen) ที่ผิวเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมี 2 ชนิด คือ แอนติเจน A และแอนติเจน B โดยจำแนกได้เป็นเลือดหมู่ A B AB และ O ส่วนแอนติบอดีอยู่ในพลาสมา มี 2 ชนิด คือ แอนติบอดี A และแอนติบอดี B ดังตาราง 15.1

ตาราง 15.1 ชนิดของแอนติเจนและแอนติบอดีในหมู่เลือดระบบ ABO

เลือดหมู่	ผิวเซลล์เม็ดเลือดแดง	พลาสมา
A	แอนติเจน A	แอนติบอดี B
B	แอนติเจน B	แอนติบอดี A
AB	มีทั้งแอนติเจน A และแอนติเจน B	ไม่มีทั้งแอนติบอดี A และแอนติบอดี B
O	ไม่มีทั้งแอนติเจน A และแอนติเจน B	มีทั้งแอนติบอดี A และแอนติบอดี B

การให้และรับเลือดนั้น แอนติเจนบนผิวเซลล์เม็ดเลือดแดงของผู้ให้ต้องไม่ตรงกับแอนติบอดีในพลาสมาของผู้รับ เพราะถ้าแอนติบอดีจับกับแอนติเจนจะทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเกาะกันเป็นก้อนและตกตะกอน อาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ ซึ่งจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 15.5 ต่อไปนี้

กิจกรรม 15.5 แบบจำลองโครงสร้างหมู่เลือดระบบ ABO

จุดประสงค์

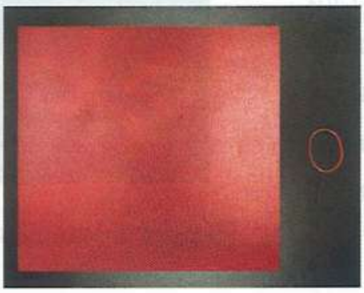
1. สร้างแบบจำลองของหมู่เลือดระบบ ABO
2. ระบุชนิดแอนติเจนและแอนติบอดีของเลือดหมู่ A B AB และ O
3. อธิบายหลักการให้และรับเลือดในเลือดหมู่ A B AB และ O

วัสดุและอุปกรณ์

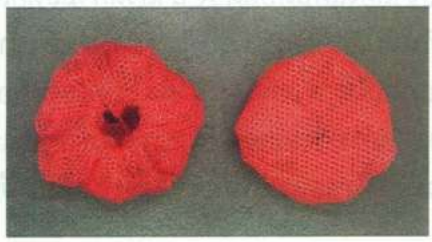
	รายการ	เลือดหมู่ A	เลือดหมู่ B	เลือดหมู่ AB	เลือดหมู่ O
1	ผ้าโปร่งสีแดง ขนาด 20x20 cm^2 (แทนเซลล์เม็ดเลือดแดง 1 เซลล์)	1	1	1	1
2	หนังยาง	1	1	1	1
3	กระดุมแป๊ก (แทนส่วนหัวของแอนติเจนและแอนติบอดี)				
	แบบเหลี่ยม-มีรูตรงกลาง	10	-	-	10
	แบบเหลี่ยม-ไม่มีรูตรงกลาง	-	5	5	-
	แบบกลม-มีรูตรงกลาง	-	10	-	10
	แบบกลม-ไม่มีรูตรงกลาง	5	-	5	-
4	ริบบิ้นลวด ยาว 3 cm (แทนแขนของแอนติเจน)				
	สีเขียว	5	-	5	-
	สีแดง	-	5	5	-
5	ลวดกำมะหยี่ ยาว 10 cm (แทนแขนของแอนติบอดี)				
	สีเขียว	-	5	-	5
	สีส้ม	5	-	-	5

วิธีการทำกิจกรรม

1. ให้แต่ละกลุ่มเลือกทำแบบจำลองของเลือดกลุ่มละ 1 หมู่ จากนั้นจัดเตรียมอุปกรณ์ตามตารางวัสดุและอุปกรณ์ว่าเลือดหมู่ที่ในกลุ่มเลือกมานั้นใช้วัสดุอะไรบ้าง (ใน 1 ห้องเรียนควรมีแบบจำลองของเลือดหมู่ A B AB และ O)
2. แบบจำลองเซลล์เม็ดเลือดแดง ใช้หนังยางมัดผ้าโปร่งสีแดงให้มีลักษณะเป็นก้อนกลม ๆ จะได้แบบจำลองเซลล์เม็ดเลือดแดงดังรูป



ผ้าโปร่งสีแดง หนังยาง



ด้านล่าง ด้านบน

รูปแบบจำลองเซลล์เม็ดเลือดแดง

3. แบบจำลองแอนติเจน นำกระดุมแป๊กไปติดกับก้านของริบบิ้นลวด ดังรูป
แอนติเจน A ใช้ริบบิ้นลวดสีเขียวติดกับกระดุมแป๊กแบบกลม-ไม่มีรูตรงกลาง
แอนติเจน B ใช้ริบบิ้นลวดสีแดงติดกับกระดุมแป๊กแบบเหลี่ยม-ไม่มีรูตรงกลาง



นำกระดุมแป๊กแบบกลมไม่มีรูตรงกลางติดกับริบบิ้นลวดสีเขียว โดยพับลวดให้ผ่านรูด้านข้างของกระดุมแป๊กแล้วพับหรืองอลวดเพื่อให้ยึดติดกันโดยไม่ต้องใช้กาว

แอนติเจน A

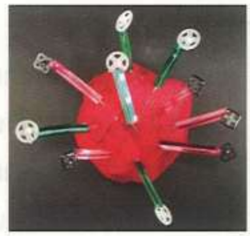


นำกระดุมแป๊กแบบเหลี่ยมไม่มีรูตรงกลางติดกับริบบิ้นลวดสีแดง โดยพับลวดให้ผ่านรูด้านข้างของกระดุมแป๊กแล้วพับหรืองอลวดเพื่อให้ยึดติดกันโดยไม่ต้องใช้กาว

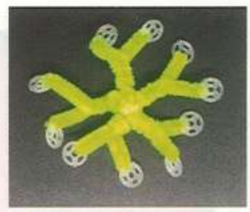
แอนติเจน B

รูปแบบจำลองแอนติเจน

4. นำแบบจำลองแอนติเจนมาติดบนผิวเซลล์เม็ดเลือดแดง ให้ตรงกับเลือดหมู่ที่แต่ละกลุ่มเลือก ดังรูป



5. แบบจำลองแอนติบอดี A นำลวดกำมะหยี่สีเขียว 5 ชิ้น มาทำให้มีลักษณะเป็นรูปตัว Y ดังรูป แล้วนำกระดุมแป๊ก แบบกลม-มีรูตรงกลาง มาติดไว้ที่ปลายของแขนตัว Y โดยสอดลวดกำมะหยี่ให้ผ่านรูด้านข้างของกระดุมแป๊ก แล้วพับหรืองอลวดเพื่อให้ยึดติดกันโดยไม่ต้องใช้กาว



รูปแบบจำลองแอนติบอดี A

6. แบบจำลองแอนติบอดี B นำลวดกำมะหยี่สีส้ม 5 ชิ้นมา ทำให้มีลักษณะเป็นรูปตัว Y ดังรูป แล้วนำกระดุมแป๊ก แบบเหลี่ยม-มีรูตรงกลาง มาติดไว้ที่ปลายของแขนตัว Y โดยสอดลวดกำมะหยี่ให้ผ่านรูด้านข้างของกระดุมแป๊ก แล้วพับหรืองอลวดเพื่อให้ยึดติดกันโดยไม่ต้องใช้กาว



รูปแบบจำลองแอนติบอดี B

7. นำแบบจำลองที่ได้ในข้อ 2-6 มาประกอบเป็นเลือดหมู่ A B AB และ O

8. นำแบบจำลองโครงสร้างเลือดหมู่ต่าง ๆ ในข้อที่ 7 มาแสดงบทบาทสมมติ การเป็นผู้ให้และผู้รับเลือด บันทึกผลการให้และรับเลือดว่าเลือดหมู่ใด ที่สามารถให้และรับเลือดแล้วไม่เป็นอันตราย เลือดไม่เกิดการตกตะกอน

ipst.me/9205

คำถามท้ายกิจกรรม

? คนที่มีเลือดหมู่ O ให้เลือดแก่คนที่มีเลือดหมู่ A ได้ แต่คนที่มีเลือดหมู่ A ไม่สามารถให้เลือดแก่คนที่มีเลือดหมู่ O ได้ เพราะเหตุใด

? เขียนแผนผังสรุปการให้และรับเลือดในหมู่เลือดระบบ ABO

หมู่เลือดระบบ Rh

เลือดมนุษย์ยังมีแอนติเจนชนิดอื่น ๆ อีก ทำให้พบหมู่เลือดระบบต่าง ๆ เช่น หมู่เลือดระบบ Rh คนไทยส่วนใหญ่ร้อยละ 99.7 มีแอนติเจน Rh อยู่ที่ผิวเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีเลือดหมู่ Rh^+ และส่วนน้อยร้อยละ 0.3 ไม่มีแอนติเจน Rh ที่ผิวเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีเลือดหมู่ Rh^- หมู่เลือดระบบ Rh นี้แตกต่างจากหมู่เลือดระบบ ABO คือ บุคคลที่มีเลือดหมู่ Rh^+ ไม่มีการสร้างแอนติบอดี แต่คนที่มีเลือดหมู่ Rh^- เมื่อได้รับเลือดหมู่ Rh^+ แอนติเจน Rh จะกระตุ้นให้คนที่มีเลือดหมู่ Rh^- สร้างแอนติบอดีต่อแอนติเจน Rh ดังนั้นในการให้และรับเลือดจะต้องคำนึงถึงแอนติเจน Rh ด้วย เนื่องจากการให้เลือดหมู่ Rh^+ ในครั้งต่อไปแอนติบอดีในร่างกายของผู้รับจะทำปฏิกิริยากับแอนติเจน Rh จากเลือดของผู้ให้ทำให้เกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

ในคนไทยมักจะไม่ค่อยมีปัญหาในการให้และรับเลือดในหมู่เลือดระบบ Rh เพราะว่าส่วนใหญ่มีเลือดหมู่ Rh^+ และพบว่ามีผู้ที่มีเลือดหมู่ Rh^- น้อยมาก แต่ถ้าในกรณีที่แม่มีเลือดหมู่ Rh^- ตั้งครรภ์และถ้าลูกในครรภ์มีเลือดหมู่ Rh^+ ก็มีโอกาสที่เซลล์เม็ดเลือดแดงจากลูกจะเข้าไปในระบบหมุนเวียนเลือดของแม่ทางบาดแผลในขณะที่คลอดเพราะช่วงที่รกหลุดจากมดลูกของแม่ เลือดของลูกมีโอกาสเข้าไปในกระแสเลือดของแม่ได้ และกระตุ้นให้แม่สร้างแอนติบอดีต่อแอนติเจน Rh ถ้าแม่ตั้งครรภ์ลูกคนที่สองที่มีเลือดหมู่ Rh^+ อีก จะเกิดอันตรายแก่ทารกในครรภ์อย่างมากเพราะเลือดของแม่มีแอนติบอดีต่อแอนติเจน Rh อยู่ด้วย และแอนติบอดีสามารถผ่านรกสู่ลูกได้ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับแอนติเจน Rh ที่ผิวเซลล์เม็ดเลือดแดงของลูก ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงถูกทำลายเกิดอันตรายซึ่งอาจร้ายแรงถึงขั้นเสียชีวิตเรียกว่าเกิด **อีรีโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส** (erythroblastosis fetalis) ดังรูป 15.18 แต่ในบางกรณีลูกคนที่สองอาจยังไม่ได้รับอันตรายจากปฏิกิริยานี้ เพราะการสร้างแอนติบอดี Rh ของแม่ยังไม่มากพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่ลูกในครรภ์ แต่ถ้ามีลูกคนที่สามและสี่ที่มีเลือดหมู่ Rh^+ อีกจะเป็นอันตรายแก่ลูกสูงขึ้น ปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันทางการแพทย์หาทางป้องกันได้ ดังนั้นหญิงที่มีครรภ์ที่มีเลือดหมู่ Rh^- จึงควรฝากครรภ์อยู่ในความดูแลของแพทย์ เพื่อหาทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับลูกในครรภ์คนต่อ ๆ ไป

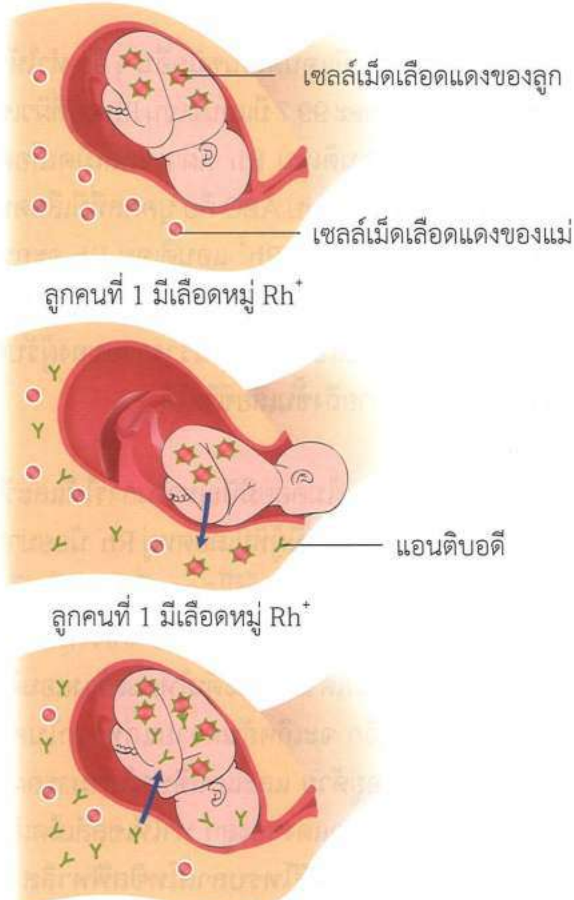
1. แม่มีเลือดหมู่ Rh^{-}

2. ลูกคนที่ 1 มีเลือดหมู่ Rh^{+} จึงมีแอนติเจน Rh บนผิวเซลล์เม็ดเลือดแดง

3. เมื่อคลอดลูกคนที่ 1 เซลล์เม็ดเลือดแดงของลูกมีโอกาสเข้าไปในระบบหมุนเวียนเลือดของแม่และเข้าไปกระตุ้นให้แม่สร้างแอนติบอดีต่อแอนติเจน Rh

4. ในกรณีที่ลูกคนที่ 2 มีเลือดหมู่ Rh^{+} แอนติบอดีต่อแอนติเจน Rh จากแม่เข้าสู่ลูกคนที่ 2 ผ่านรกไปจับกับแอนติเจน Rh ของลูก

5. เซลล์เม็ดเลือดแดงของลูกคนที่ 2 ถูกทำลาย อาจเกิดอันตรายได้



รูป 15.18 การเกิดอีรีโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส

ระบบหมุนเวียนเลือดนอกจากจะมีหน้าที่ในการลำเลียงสารอาหาร แก๊ส และสารอื่น ๆ ไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแล้ว ยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันด้วย ทั้งนี้ระบบหมุนเวียนเลือดยังมีบทบาทในการรักษาดุลยภาพของร่างกาย เช่น ดุลยภาพของอุณหภูมิภายในร่างกาย ดุลยภาพความเป็นกรด-เบส และดุลยภาพของน้ำ

กลไกการควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่เป็นการทำงานร่วมกันของระบบหมุนเวียนเลือด ผิวหนัง และกล้ามเนื้อโครงร่าง โดยมีสมองส่วนไฮโพทาลามัสเป็นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่ เมื่ออุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นจะมีการระบายความร้อนออกจากเนื้อเยื่อหรือเซลล์ไปยังบริเวณ

ผิวหนังผ่านระบบหมุนเวียนเลือดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหลอดเลือดบริเวณผิวหนังมีการขยายตัว อัตราการไหลเวียนของเลือดไปยังผิวหนังจึงมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของร่างกายลดลง หลอดเลือดบริเวณผิวหนังจะหดตัวทำให้การไหลเวียนของเลือดไปยังผิวหนังลดลง จึงมีการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกายน้อยลง ดังรูป 15.19



รูป 15.19 กลไกการรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิในร่างกาย

? เพราะเหตุใดเมื่อออกกำลังกายอย่างหนักจะมีอาการหน้าแดง เหงื่อออกมากและหายใจแรงและถี่ขึ้น

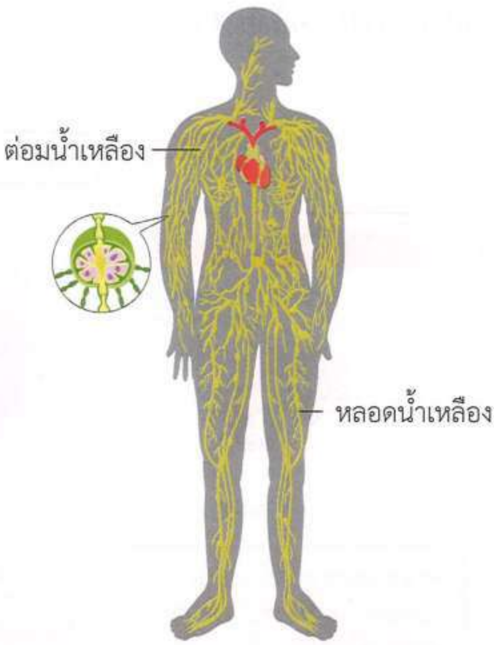
? มนุษย์มีพฤติกรรมใดอีกบ้างเพื่อช่วยรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิในร่างกาย

บางครั้งร่างกายจะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติหรือเป็นไข้เนื่องจากร่างกายได้รับเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอม ซึ่งมีผลทำให้สมองส่วนไฮโพทาลามัสกำหนดค่าอุณหภูมิในร่างกายให้สูงกว่าปกติ ร่างกายจึงรู้สึกหนาวสั่นเพราะอุณหภูมิจริงของร่างกายในขณะนั้นต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดขึ้นใหม่ การที่อุณหภูมิในร่างกายสูงขึ้นนี้ จะเป็นการช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดได้

15.3 ระบบน้ำเหลือง

เมื่อเลือดไหลผ่านหลอดเลือดฝอย แรงดันของเลือดจะทำให้ของเหลวออกจากหลอดเลือดฝอยเข้าไปอยู่บริเวณระหว่างเซลล์ เรียกว่า **ของเหลวระหว่างเซลล์** (interstitial fluid) ซึ่งโดยปกติของเหลวจะออกจากหลอดเลือดฝอยมากกว่ากลับเข้าสู่หลอดเลือดฝอย ดังนั้นจึงต้องอาศัย**ระบบน้ำเหลือง** (lymphatic system) ในการนำของเหลวเหล่านี้กลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดเพื่อรักษาดุลยภาพของของเหลว

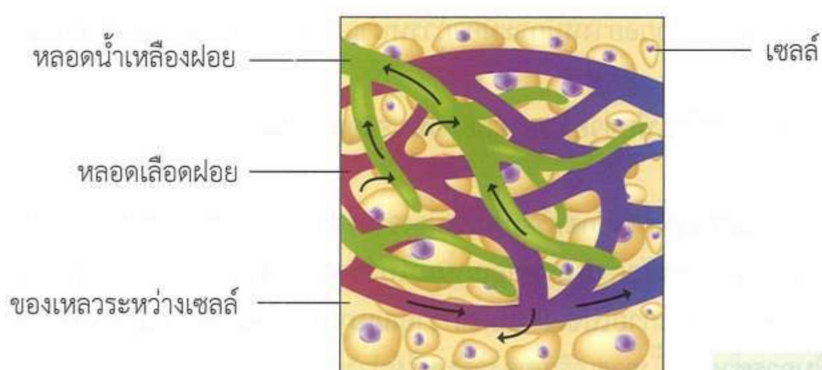
ระบบน้ำเหลือง เป็นระบบที่ทำหน้าที่ลำเลียงของเหลวกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง ประกอบด้วย **น้ำเหลือง** (lymph) **หลอดน้ำเหลือง** (lymph vessel) และ**ต่อมน้ำเหลือง** (lymph node) ดังรูป 15.20



รูป 15.20 ระบบน้ำเหลือง

น้ำเหลือง

น้ำเหลืองเป็นของเหลวที่อยู่ในหลอดน้ำเหลืองและต่อมน้ำเหลือง โดยเกิดจากของเหลวที่ออกจากหลอดเลือดฝอยมาอยู่ระหว่างเซลล์และลำเลียงเข้าสู่**หลอดน้ำเหลืองฝอย** (lymphatic capillary) ดังรูป 15.21

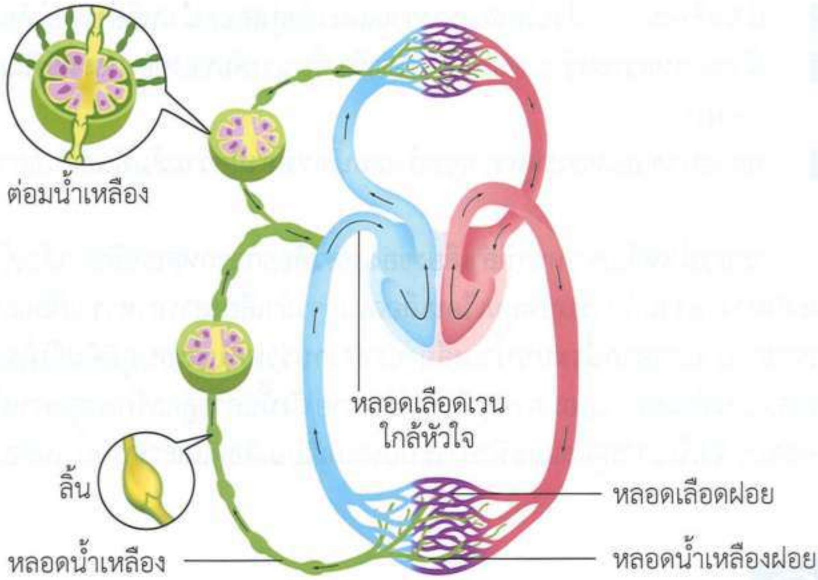


รูป 15.21 การเกิดน้ำเหลือง

น้ำเหลืองมีส่วนประกอบคล้ายพลาสมาแต่มีโปรตีนน้อยกว่า ส่วนประกอบของน้ำเหลืองมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำเหลืองว่าอยู่ที่อวัยวะใด เช่น น้ำเหลืองที่มาจากบริเวณต่อมน้ำเหลืองจะมีลิมโฟไซต์จำนวนมาก ส่วนน้ำเหลืองที่มาจากบริเวณลำไส้เล็กมีลักษณะคล้ายน้ำนม เนื่องจากมีการดูดซึมลิพิดที่ผ่านการย่อยแล้วจากบริเวณไมโครวิลลัสเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองฝอยแล้วลำเลียงไปตามหลอดน้ำเหลือง

หลอดน้ำเหลือง

หลอดน้ำเหลืองที่มีขนาดเล็กที่สุด คือหลอดน้ำเหลืองฝอยซึ่งมีปลายปิด หลอดน้ำเหลืองฝอยจากบริเวณต่าง ๆ จะมาเชื่อมรวมกันเป็นหลอดน้ำเหลืองขนาดใหญ่ขึ้น การลำเลียงน้ำเหลืองในหลอดน้ำเหลืองเป็นการนำน้ำเหลืองกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดจะมีทิศทางการไหลเข้าสู่หัวใจ โดยน้ำเหลืองจะถูกลำเลียงผ่านหลอดน้ำเหลืองฝอย หลอดน้ำเหลือง และต่อมน้ำเหลืองซึ่งเป็นบริเวณที่มีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มากับน้ำเหลืองซึ่งพบเซลล์เม็ดเลือดขาวจำนวนมาก ในที่สุดน้ำเหลืองจะถูกลำเลียงเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดที่บริเวณหลอดเลือดเวนใกล้หัวใจก่อนจะเข้าสู่หัวใจ ดังรูป 15.22



รูป 15.22 การลำเลียงน้ำเหลืองเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด

? ถ้าไม่มีการลำเลียงน้ำเหลืองผ่านต่อมน้ำเหลืองจะส่งผลต่อร่างกายอย่างไร

? ถ้าหลอดน้ำเหลืองอุดตันจะส่งผลต่อร่างกายอย่างไร

โครงสร้างของหลอดน้ำเหลืองมีลักษณะคล้ายกับหลอดเลือดเวนคือ มีลิ้นกั้นป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำเหลือง ดังรูป 15.22 ปัจจัยที่ทำให้น้ำเหลืองไหลไปตามหลอดน้ำเหลืองต่างๆ ได้คือ การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อที่อยู่รอบ ๆ หลอดน้ำเหลืองที่จะไปกดหรือคลายหลอดน้ำเหลือง และการหายใจเข้าซึ่งมีผลไปขยายทรวงอก และลดความดันของช่องอก ทำให้หลอดน้ำเหลืองบริเวณทรวงอกเกิดการขยายตัว ส่งผลให้น้ำเหลืองไหลไปตามหลอดน้ำเหลืองอย่างช้า ๆ ประมาณ 1.5 มิลลิเมตรต่อนาที

ต่อมน้ำเหลือง

น้ำเหลืองจะผ่านเข้าไปใน**ต่อมน้ำเหลือง** ซึ่งจะมีหลอดน้ำเหลืองจำนวนมากเข้ามายังต่อมน้ำเหลือง ภายในมีลิมโฟไซต์อยู่อย่างหนาแน่นทำหน้าที่กรองน้ำเหลืองและทำลายสิ่งแปลกปลอมที่มากับน้ำเหลือง

- ? การไหลเวียนของน้ำเหลืองในระบบน้ำเหลืองกับการไหลเวียนของเลือดในระบบหมุนเวียนเลือดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ? น้ำเหลืองมาจากส่วนใดของร่างกายและเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองฝอยได้อย่างไร
- ? เมื่อของเหลวระหว่างเซลล์มีปริมาตรเพิ่มขึ้น แรงดันของของเหลวที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อร่างกายอย่างไร
- ? พลาสมา ของเหลวระหว่างเซลล์ และน้ำเหลืองมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ระบบน้ำเหลืองทำหน้าที่ลำเลียงของเหลวที่ออกจากหลอดเลือดกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด และยังทำงานร่วมกับระบบหมุนเวียนเลือดในการลำเลียงสารอาหาร แก๊สออกซิเจน ไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย นอกจากนี้ระบบน้ำเหลืองยังทำงานร่วมกับระบบภูมิคุ้มกันในการต่อต้านและทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นการดูแลรักษาสุขภาพให้แข็งแรงปลอดภัยจากโรคต่าง ๆ จึงเป็นการดูแลและรักษาระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลืองให้ทำงานเป็นปกติด้วย

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลืองเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สัตว์มีระบบหมุนเวียนเลือด 2 แบบ คือ ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิดพบในสัตว์จำพวกหอย แมลง กุ้ง และระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิดพบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด เช่น ไส้เดือนดิน และในสัตว์มีกระดูกสันหลัง

2. เลือดในหลอดเลือดเวนจะไหลกลับเข้าสู่หัวใจ ในขณะที่เลือดในหลอดเลือดอาร์เทอรีจะไหลออกจากหัวใจ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดในหลอดเลือดอาร์เทอรีเร็วกว่าในหลอดเลือดเวน

3. ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์ประกอบด้วย หัวใจ หลอดเลือด และเลือด ซึ่งเลือดไหลเวียนอยู่เฉพาะในหลอดเลือด

4. หัวใจทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปเลี้ยงเซลล์ทั่วร่างกาย โดยมีเอเทรียมทำหน้าที่รับเลือดเข้าสู่หัวใจ และเวนทริเคิลทำหน้าที่บีบตัวสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจ โดยมีลิ้นกั้นระหว่างเอเทรียมกับเวนทริเคิล และระหว่างเวนทริเคิลกับหลอดเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจ

5. หัวใจนำเลือดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายทางเอออร์ตา แล้วลำเลียงไปตามอาร์เทอรี อาร์เทอริโอล หลอดเลือดฝอย และนำเลือดกลับเข้าสู่หัวใจทาง เวนูล เวน และเวนาคาวา

6. ขณะที่หัวใจบีบตัวสูบฉีดเลือด ทำให้เกิดความดันเลือดและชีพจร ปัจจัยที่มีผลต่อความดันเลือดและชีพจร เช่น อายุ เพศ และสภาพของร่างกาย

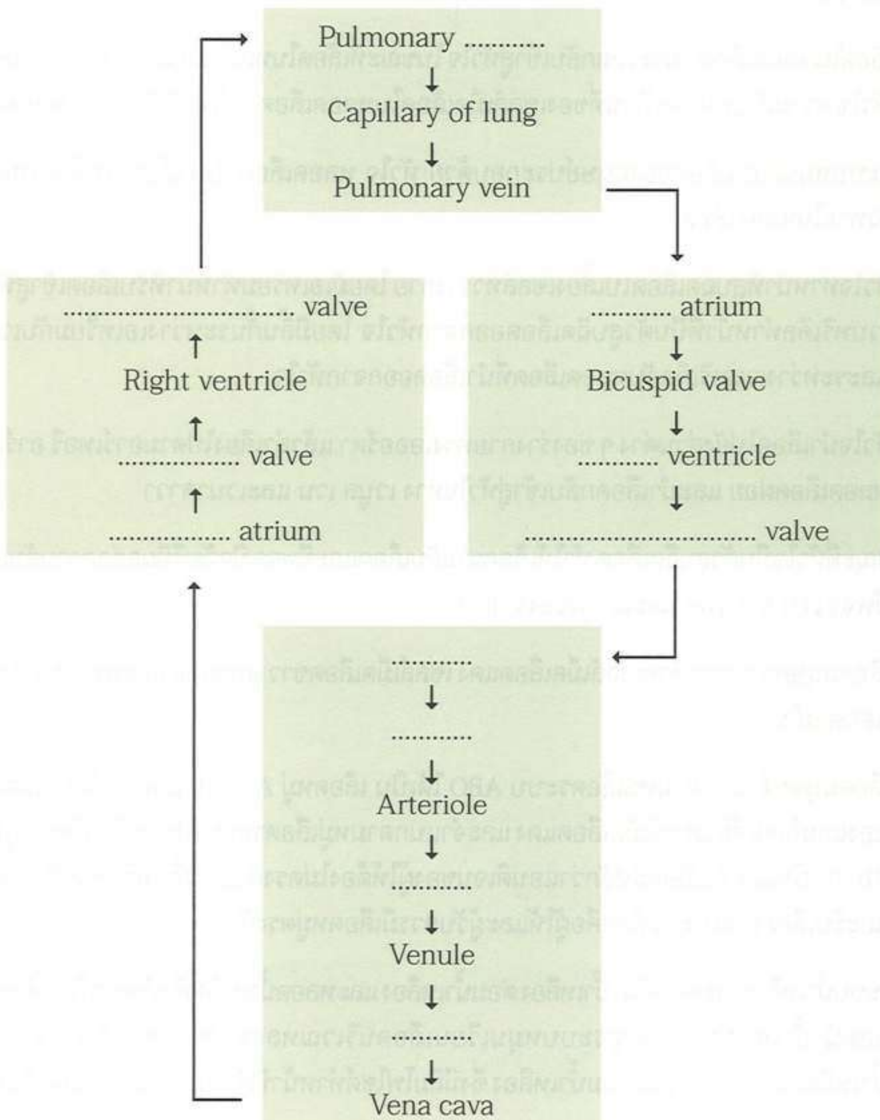
7. เลือดมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว เพลตเลต และพลาสมา ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน

8. เลือดมนุษย์จำแนกตามหมู่เลือดระบบ ABO ได้เป็น เลือดหมู่ A B AB และ O ซึ่งจำแนกตามชนิดของแอนติเจนที่ผิวเซลล์เม็ดเลือดแดง และจำแนกตามหมู่เลือดระบบ Rh ได้เป็น เลือดหมู่ Rh^+ และ Rh^- การให้และรับเลือดมีหลักว่าแอนติเจนของผู้ให้ต้องไม่ตรงกับแอนติบอดีของผู้รับ และการให้และรับเลือดที่เหมาะสมที่สุดคือผู้ให้และผู้รับควรมีเลือดหมู่ตรงกัน

9. ระบบน้ำเหลืองประกอบด้วย น้ำเหลือง ต่อมน้ำเหลือง และหลอดน้ำเหลืองซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำเหลือง และนำน้ำเหลืองกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดบริเวณหลอดเลือดเวนใกล้หัวใจ ในบางช่วงน้ำเหลืองจะผ่านเข้าไปในต่อมน้ำเหลือง ซึ่งมีลิมโฟไซต์ทำหน้าที่ทำลายสิ่งแปลกปลอมในน้ำเหลือง

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 15

1. จงเติมชื่อโครงสร้างในระบบหมุนเวียนเลือดในร่างกายของมนุษย์ลงในช่องว่างให้ถูกต้อง



2. จงนำตัวอักษรหน้าข้อความที่อยู่ด้านขวามือเติมในช่องว่างด้านซ้ายมือให้มีความสัมพันธ์กัน

.......2.1 atherosclerosis	ก. กราฟที่ได้จากการบันทึกการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งตรงกับจังหวะการทำงานของหัวใจส่วนต่าง ๆ
.......2.2 artificial pacemaker	ข. เครื่องที่ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าไปกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหัวใจทำงานได้เป็นปกติ
.......2.3 blood clotting	ค. ภาวะที่หลอดเลือดตีบและแข็งเนื่องจากการสะสมของคอเลสเตอรอลที่ผนังหลอดเลือด
.......2.4 electrocardiogram	ง. การเพิ่มจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดขาวอย่างผิดปกติ และไม่สามารถทำงานได้
.......2.5 erythroblastosis fetalis	จ. กระบวนการที่ทำให้เกิดการสานของไฟบรินเป็นร่างแหโปรตีนโดยจะรวมกับเพลตเลต และเซลล์เม็ดเลือดแดงไปอุดบาดแผล
.......2.6 leukemia	ฉ. ภาวะที่เกิดกับลูกที่มีเลือดหมู่ Rh^+ ตั้งแต่คนที่ 2 ขึ้นไป และแม่ที่มีเลือดหมู่ Rh^- สร้างแอนติบอดีต่อแอนติเจน Rh ได้ เนื่องจากได้รับแอนติเจน Rh จากลูกที่มีเลือดหมู่ Rh^+ คนแรกขณะคลอด

3. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขข้อความโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......3.1 ถ้าเส้นประสาททุกเส้นที่ไปยังหัวใจถูกทำลาย พบว่าหัวใจจะหยุดทำงานทันที

....

.......3.2 เลือดที่มี O_2 ต่ำจะเข้าสู่เอเทรียมขวาของหัวใจโดยตรง เนื่องจากไม่มีลิ้นกั้นระหว่างหลอดเลือดและหัวใจ

....

.......3.3 เลือดในเวนทริเคิลขวามีความเข้มข้นของ O_2 น้อยกว่าเลือดในพัลโมนารีอาร์เทอรี

....

.......3.4 โคโรนารีอาร์เทอรีเป็นหลอดเลือดที่นำเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ

....

.......3.5 ในคนปกติวัดความดันเลือดได้ประมาณ 120/80 มิลลิเมตรปรอท ถ้าเวนทริเคิลบีบตัวแรงขึ้น แต่ยังคลายตัวปกติ พบว่าจะทำให้ความดันซิสโทลิกลดลง

....

.......3.6 ผนังของอาร์เทอรี หลอดเลือดฝอย และเวน ประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุผิวชั้นในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

....

.......3.7 หลอดเลือดฝอยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กแต่มีพื้นที่ผิวรวมมาก เลือดในหลอดเลือดฝอยจึงไหลเร็ว

....

.......3.8 เซลล์เม็ดเลือดแดงในหลอดเลือดของมนุษย์มีรูปร่างกลมแบน ตรงกลางบุ๋ม ไม่มีนิวเคลียส มีไม่โทคอนเดรีย มีฮีโมโกลบินซึ่งสามารถจับ O_2 และ CO_2 ได้

....

.......3.9 เซลล์เม็ดเลือดแดง สามารถเคลื่อนผ่านผนังหลอดเลือดฝอยสู่เนื้อเยื่อที่มีเชื้อโรคและเคลื่อนที่เข้าหาสารเคมีที่เชื้อโรคหรือที่เซลล์แปลกปลอมปล่อยออกมา

....

.......3.10 ในผู้ใหญ่เซลล์เม็ดเลือดแดงทั้งหมดสร้างจากเซลล์ต้นกำเนิดในไขกระดูก

....

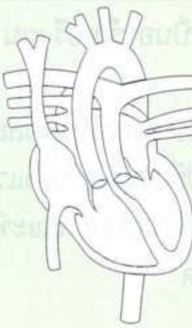
.......3.11 น้ำเหลืองต่างจากพลาสมาเพราะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า

....

.......3.12 หลอดน้ำเหลืองมีลิ้นกั้นซึ่งคล้ายกับหลอดเลือดเวน

....

4. Transposition of the great vessels (TGV) เป็นความผิดปกติตั้งแต่แรกเกิดที่มีการสลับของหลอดเลือดดังรูป



   4.1 จงเขียนวงจรการไหลของเลือดในร่างกายของผู้ที่มีความผิดปกตินี้ โดยระบุหลอดเลือดและห้องหัวใจที่เกี่ยวข้อง

   4.2 ผลกระทบและความร้ายแรงของการที่หลอดเลือดสลับตำแหน่งกันในกรณีนี้เป็นอย่างไร

5. Ventricular septal defect (VSD) เป็นความผิดปกติที่พบตั้งแต่แรกเกิด โดยหัวใจของผู้ป่วยจะมีรูเปิดที่ผนังระหว่างเวนทริเคิลซ้ายและเวนทริเคิลขวา ผู้ที่เป็นโรคนี้จะมีอาการหัวใจเต้นเร็ว หายใจถี่ เหนื่อยหอบง่าย สามารถใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและกลไกการทำงานของหัวใจอธิบายอาการดังกล่าวได้อย่างไร

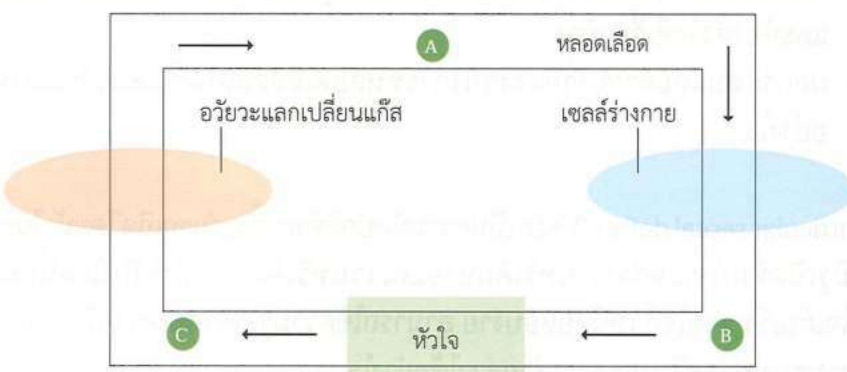
6. จากตารางแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดเลือด

หลอดเลือด	ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (μm)	ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (μm)
A	10	8
B	3,000	1,000
C	3,500	3,000

หลอดเลือดใดเป็นอาร์เทอรี เวน และหลอดเลือดฝอย เพราะเหตุใด

7. ไส้เดือนดินอาศัยในดินที่ชื้น เซลล์ของร่างกายจึงมีโอกาสสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ทำให้เซลล์สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สกับสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง เพราะเหตุใดไส้เดือนดินจึงยังจำเป็นต้องมีระบบหมุนเวียนเลือด ขณะที่พลานาเรียหรือกลุ่มหนอนตัวแบนไม่ต้องอาศัยระบบหมุนเวียนเลือด

8. สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีระบบหมุนเวียนเลือดดังรูป

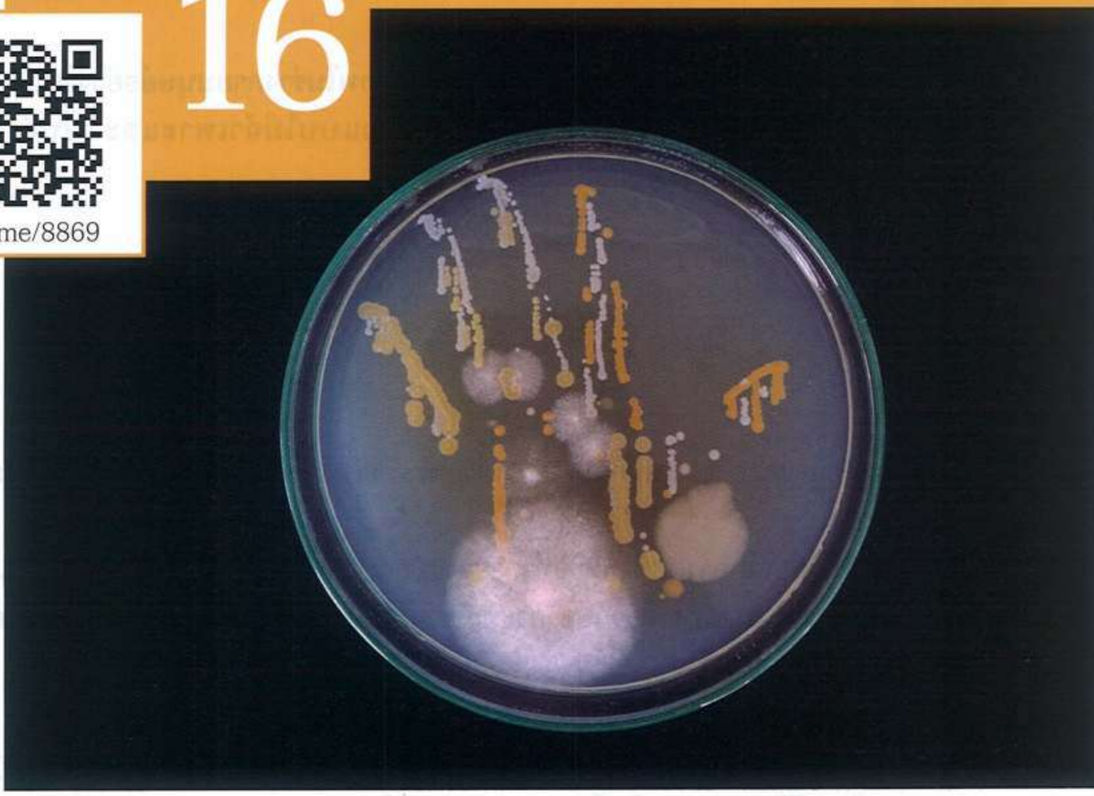


8.1 จากรูปสิ่งมีชีวิตนี้มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิดหรือแบบปิด เพราะเหตุใด

8.2 บริเวณ A B และ C ในรูปบริเวณใดบ้างที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนในหลอดเลือดสูง เพราะเหตุใด

บทที่ 16 | ระบบภูมิคุ้มกัน

ipst.me/8869



ในแต่ละวันร่างกายมนุษย์ได้รับจุลินทรีย์หรือสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมซึ่งอาจรบกวนการรักษาดุลยภาพของร่างกายได้ เช่น มือที่สัมผัสกับวัตถุที่อาจมีจุลินทรีย์ปะปนอยู่ ดังรูปฝ่ามือของเด็กคนหนึ่งที่นำมาทาบลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่ามีจุลินทรีย์เกิดขึ้นมากมายและอาจมีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปะปนอยู่ด้วย

ธรรมชาติสร้างให้มนุษย์มีระบบภูมิคุ้มกันเพื่อให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่อาจเป็นอันตราย การเรียนรู้ถึงกลไกการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายทำให้สามารถนำมาปรับใช้เพื่อเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น

ร่างกายมีกลไกอย่างไรที่จะป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เข้าสู่ภายในร่างกายและถ้าเข้าสู่ร่างกายแล้วมีกลไกอย่างไรในการกำจัดจุลินทรีย์และสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นไม่ให้เป็นอันตรายต่อร่างกาย

คำถามสำคัญ

1. **ระบบภูมิคุ้มกันมีความสำคัญในการรักษาดุลยภาพในร่างกายมนุษย์อย่างไร**
2. **กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ
2. เปรียบเทียบกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ
3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือตอบสนองของภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ
4. สืบค้นข้อมูล อธิบายและเปรียบเทียบการสร้างภูมิคุ้มกันก่อเองและภูมิคุ้มกันรับมา
5. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันที่ทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ การสร้างภูมิต้านทานต่อเนื้อเยื่อตนเอง และเอดส์
6. สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกการติดเชื้อ HIV ที่เป็นสาเหตุการเกิดภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. ผิวหนังช่วยป้องกันเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่ร่างกาย
2. เซลล์เม็ดเลือดขาวทำหน้าที่กำจัดเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย
3. เซลล์เม็ดเลือดขาวพบได้ในระบบหมุนเวียนเลือด ระบบน้ำเหลือง และบางครั้งพบในเนื้อเยื่อบริเวณที่มีบาดแผล
4. การนำแบคทีเรียเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาวเป็นการลำเลียงเข้าสู่เซลล์โดยแอกทีฟทรานสปอร์ต เนื่องจากแบคทีเรียมีขนาดเล็กและต้องอาศัยพลังงานในการลำเลียงเข้าสู่เซลล์
5. แอนติบอดีและเอนไซม์ไลโซไซม์ในน้ำตาเป็นสารประเภทลิพิดที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย
6. เมื่อเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย เซลล์เม็ดเลือดขาวจะได้รับการกระตุ้นและเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวจำนวนมากไว้กำจัดเชื้อโรคที่เข้ามาในร่างกาย
7. การฉีดวัคซีนช่วยกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อโรค
8. ผู้ป่วยโรคเอดส์มักจะเสียชีวิตจากการติดเชื้อ HIV อย่างรุนแรง

ในแต่ละวันร่างกายมีโอกาสได้รับสิ่งแปลกปลอมซึ่งมีทั้งจุลินทรีย์ เช่น ไวรัส แบคทีเรีย ตลอดจนสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ เช่น ฝุ่นละออง สารเคมีหรือสารพิษ ที่อาจทำให้เกิดอันตรายและส่งผลให้ระบบต่าง ๆ ของร่างกายทำงานผิดปกติ และทำให้เกิดการเจ็บป่วยได้ สิ่งแปลกปลอมดังกล่าวอาจได้รับจากการสัมผัส การรับประทาน หรือการหายใจ บางคนเมื่อได้รับสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้เข้าไปอาจทำให้มีอาการเจ็บป่วยหรือเป็นโรค ขณะที่บางคนไม่มีอาการดังกล่าว การแสดงการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมที่แตกต่างกันนี้เป็นผลมาจากการทำงานของ**ระบบภูมิคุ้มกัน** (immune system) ในร่างกายของแต่ละคนที่มีการตอบสนองแตกต่างกัน **ร่างกายมีกลไกที่ทำให้เกิดการตอบสนองโดยการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายได้อย่างไร**

รู้หรือไม่

ผิวหนังมนุษย์มีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลากหลายชนิดอาศัยอยู่ จุลินทรีย์เหล่านี้จะเจริญปกคลุมทั่วไปที่ผิวหนังชั้นนอก เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่น ๆ เจริญหรือเข้าสู่ร่างกายได้ แต่หากเข้าสู่ร่างกายจะกลายเป็นสิ่งแปลกปลอมและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายได้

16.1 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอม

ร่างกายมนุษย์มีกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอม 2 แบบ คือ กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ ซึ่งทั้งสองกลไกจะทำงานร่วมกันเพื่อป้องกันและทำลายสิ่งแปลกปลอมที่อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ต่าง ๆ

16.1.1 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะ

กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อ

ร่างกายมนุษย์มีกลไกในการป้องกัน ต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมก่อนที่จะเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเนื้อเยื่อโดยมีต่อมเหงื่อ ต่อมไขมันที่ผิวหนัง หรือมีเมือกปกคลุมที่เยื่อบุต่าง ๆ เช่น เยื่อบุบริเวณกระเพาะปัสสาวะและช่องคลอด **กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อมีอะไรบ้าง** ซึ่งจะศึกษาได้จากการทำกิจกรรม 16.1

กิจกรรม 16.1 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกาย

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูล อธิบาย และนำเสนอกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกาย

วิธีการทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับอวัยวะหรือโครงสร้างที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกาย รวมทั้งกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอม
2. สรุปและนำเสนอเกี่ยวกับอวัยวะหรือโครงสร้างและกลไกที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกายในรูปแบบของแผนภาพหรือ infographic

คำถามท้ายกิจกรรม

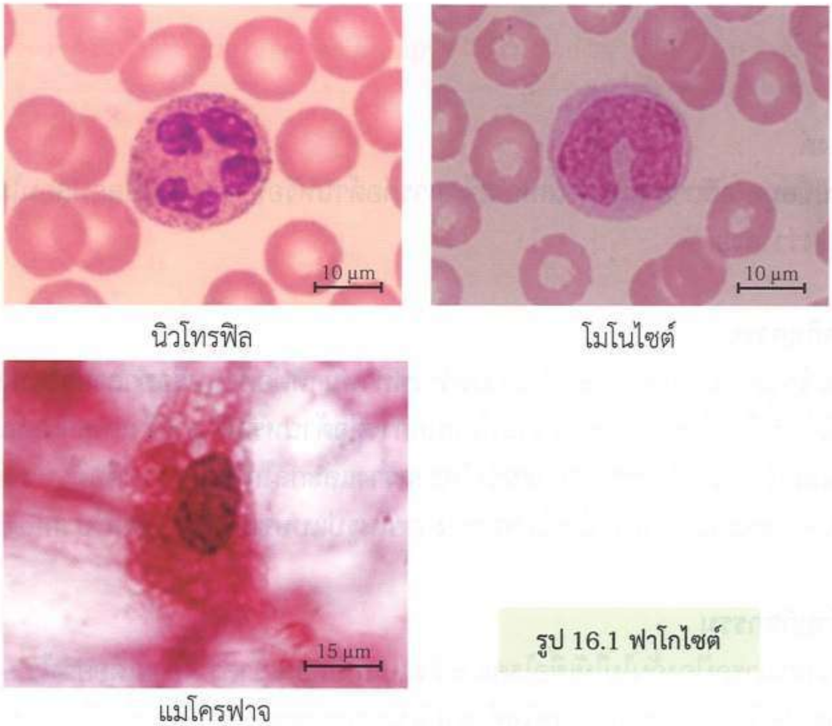
? ผิวหนังสามารถป้องกันไม่ให้เชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกายได้อย่างไร

? เยื่อบุต่าง ๆ มีกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกายได้อย่างไร

จากกิจกรรม 16.1 ร่างกายมนุษย์มีอวัยวะหรือโครงสร้างที่ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมอยู่ทั่วร่างกาย เช่น ผิวหนังช่วยปกป้องไม่ให้สิ่งแปลกปลอมเข้าสู่อวัยวะภายใน สารคัดหลั่งจากอวัยวะต่าง ๆ มีเอนไซม์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย แต่ถ้าอวัยวะเหล่านี้เสียหายหรือไม่สามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกายได้ **ร่างกายจะมีกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้อย่างไร**

กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เนื้อเยื่อ

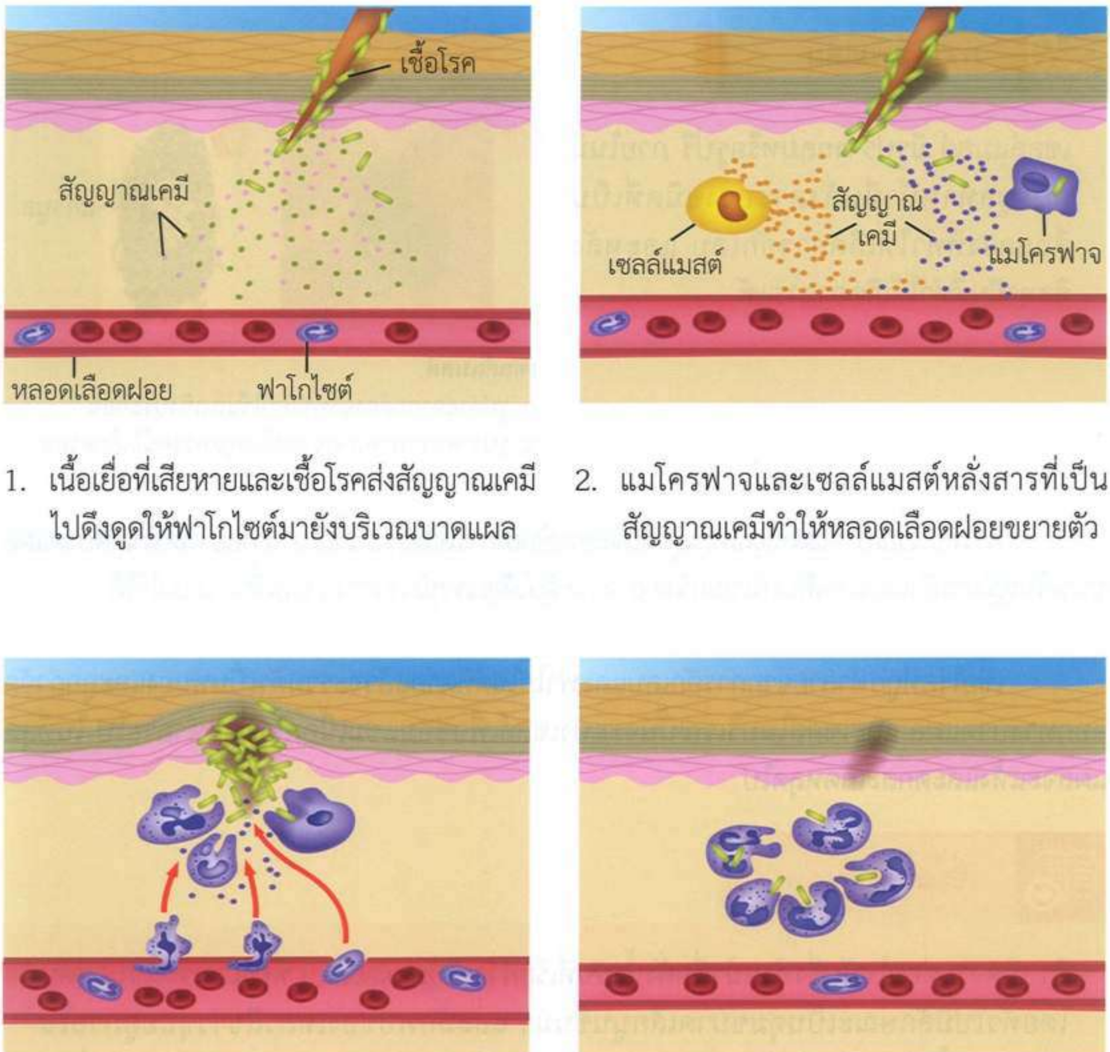
ในกรณีที่เกิดบาดแผล ทำให้สิ่งแปลกปลอมเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ ร่างกายยังมีกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะ คือ การทำงานของเซลล์เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์ ได้แก่ นิวโทรฟิล และโมโนไซต์ โดยโมโนไซต์เมื่อแทรกตัวออกจากหลอดเลือดฝอยไปตามเนื้อเยื่อจะเปลี่ยนแปลงและขยายขนาดไปเป็น**แมโครฟาจ** (macrophage) ดังรูป 16.1 ซึ่งเป็นเซลล์ขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูงในการดักจับและทำลายเชื้อโรค



รูป 16.1 ฟาโกไซต์

นอกจากนี้การทำงานของฟาโกไซต์ยังทำให้เกิด**การอักเสบ** (inflammation) ซึ่งการอักเสบจะช่วยกำจัดสิ่งแปลกปลอมภายในร่างกาย

เมื่อเกิดบาดแผลและมีเชื้อโรคเข้าสู่เนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อที่เสียหายและเชื้อโรคจะส่งสัญญาณเคมีไปดึงดูดให้ฟาโกไซต์มายังบริเวณที่เกิดบาดแผลมากขึ้น โดยฟาโกไซต์จะดักจับเชื้อโรคไว้ไม่ให้แพร่กระจายไปยังบริเวณอื่น ๆ จากนั้นจะทำลายเชื้อโรคและเนื้อเยื่อที่เสียหายโดยฟาโกไซโทซิส นอกจากนี้แมโครฟาจและ**เซลล์แมสต์** (mast cell) ในเนื้อเยื่อหรือเบโซฟิลในเลือดยังทำหน้าที่หลั่งสารซึ่งเป็นสัญญาณเคมีไปกระตุ้นให้หลอดเลือดฝอยบริเวณนี้ขยายตัว เพื่อนำเลือดและเซลล์เม็ดเลือดขาวมาสะสมมากขึ้น มีการซึมผ่านของน้ำเหลืองเพื่อนำสารต่าง ๆ ที่ช่วยกำจัดเชื้อโรคเข้าสู่บริเวณบาดแผล ทำให้มีอาการบวม แดง อุณหภูมิสูงขึ้น และรู้สึกเจ็บปวด เรียกการตอบสนองเหล่านี้ว่า การอักเสบ ซึ่งสรุปได้ดังรูป 16.2

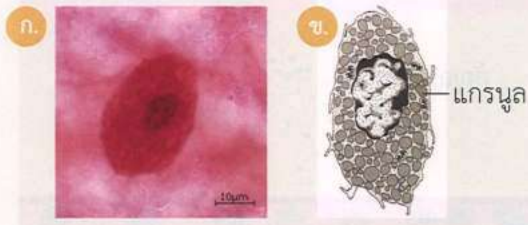


1. เนื้อเยื่อที่เสียหายและเชื้อโรคส่งสัญญาณเคมีไปดึงดูดให้ฟาโกไซต์มายังบริเวณบาดแผล
2. แมโครฟาจและเซลล์แมสต์หลั่งสารที่เป็นสัญญาณเคมีทำให้หลอดเลือดฝอยขยายตัว
3. ฟาโกไซต์แทรกตัวออกจากหลอดเลือดฝอยไปยังเนื้อเยื่อที่เสียหาย
4. ฟาโกไซต์เข้าทำลายเชื้อโรคและเนื้อเยื่อที่เสียหายโดยฟาโกไซโทซิส

รูป 16.2 การกำจัดเชื้อโรคโดยกระบวนการอักเสบ

ความรู้เพิ่มเติม

เซลล์แมสต์ มีรูปร่างกลมหรือรูปรี ภายในมีแกรนูลทำหน้าที่หลั่งสารบางชนิดที่เป็นสื่อกลางที่ทำให้เกิดการอักเสบ และหลั่งฮิสทามีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้



เซลล์แมสต์
ก. รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
ข. รูปวาดจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

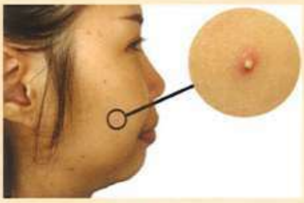
การที่บริเวณบาดแผลมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคบางอย่างได้ ถ้าเกิดบาดแผลขนาดใหญ่มีการอักเสบมากเป็นบริเวณกว้าง อาจกระตุ้นให้อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้นจนเป็นไข้ได้

เชื้อโรคที่ถูกทำลายจากการอักเสบและฟาโกไซต์ที่ตายแล้วจะรวมตัวเป็นหนองและถูกกำจัดออกทางบาดแผล และเซลล์ในบริเวณนั้นจะแบ่งเซลล์เพื่อซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายไป ในที่สุดแผลจะแห้งและตกสะเก็ดหลุดไป

เชื่อมโยงสุขภาพ

สิว เกิดจากต่อมไขมันซึ่งทำหน้าที่หลั่งน้ำมันที่เรียกว่า ซีบัม (sebum) ที่บริเวณรูขุมขนอุดตัน โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นตุ่มขนาดเล็กนูนขึ้นมา และมักพบของเหลวสีขาวขุ่นอยู่ภายใน เมื่อปล่อยทิ้งไว้จะแข็งเป็นก้อนซึ่งหลุดออกมาเอง แต่ถ้าต่อมไขมันถูกกระตุ้นหรือมีปัจจัยอื่น ๆ มาทำให้มีการหลั่งซีบัมออกมาเป็นปริมาณมาก จะทำให้บริเวณนั้นเหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียที่มีชื่อว่า *Propionibacterium acnes* ซึ่งปกติอาศัยอยู่ในรูขุมขน

เมื่อแบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติจะเข้าไปทำลายเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกลงไปและที่อยู่รอบ ๆ รูขุมขนเป็นบริเวณกว้าง กระตุ้นให้เกิดการอักเสบหรือที่เรียกว่า สิวอักเสบ มีลักษณะเป็นตุ่มบวมแดง มีอาการเจ็บปวด และอาจมีหนองปรากฏด้วย



สิวอักเสบ

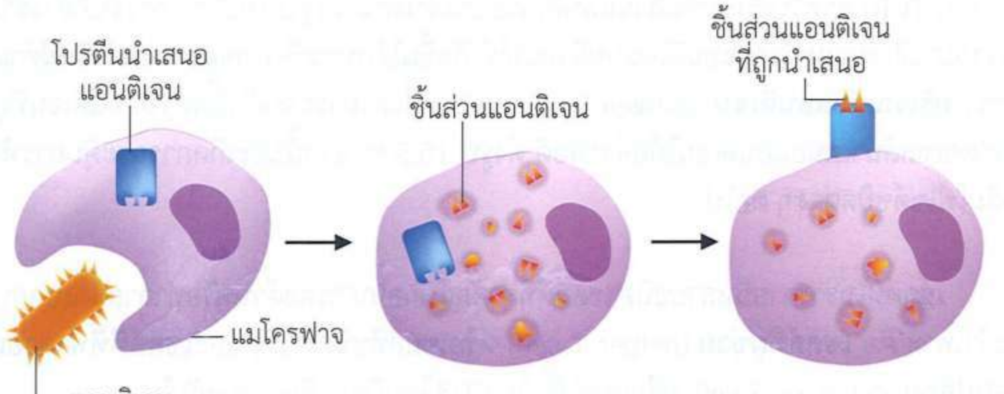
สิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกายนอกจากจะทำให้เกิดกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะแล้ว ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะด้วย โดยสิ่งแปลกปลอม เช่น ไวรัส แบคทีเรีย รา รวมทั้งชิ้นส่วนของสิ่งเหล่านี้ และสารพิษต่าง ๆ ที่เข้าสู่เนื้อเยื่อแล้วไปกระตุ้นกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ เรียกสิ่งแปลกปลอมนี้ว่า **แอนติเจน** (antigen) **แอนติเจนกระตุ้นให้เกิดการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะได้อย่างไร**

16.1.2 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ

กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะเกี่ยวข้องกับการทำงานของ**เซลล์นำเสนอแอนติเจน** (antigen presenting cell) และลิมโฟไซต์

เซลล์นำเสนอแอนติเจน

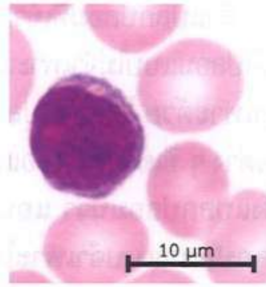
เมื่อแอนติเจนเข้าสู่เนื้อเยื่อ แมโครฟาจจะเข้าทำลายโดยฟาโกไซโทซิส ทำให้เกิดชิ้นส่วนของแอนติเจนที่ได้จากการย่อย และชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกนำเสนอบนโปรตีนที่ผิวเซลล์ของแมโครฟาจ ดังรูป 16.3 เพื่อกระตุ้นให้เกิดการทำงานของลิมโฟไซต์และเซลล์อื่น ๆ ในระบบภูมิคุ้มกันให้ทำงานประสานกันในการกำจัดเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เรียกแมโครฟาจที่ทำหน้าที่นี้ว่า เซลล์นำเสนอแอนติเจน



รูป 16.3 เซลล์นำเสนอแอนติเจน

ลิมโฟไซต์

ลิมโฟไซต์ คือ เซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีขนาดเล็ก นิวเคลียสเกือบเต็มเซลล์ ดังรูป 16.4 ทำหน้าที่ตอบสนอง และทำลายสิ่งแปลกปลอม โดยสามารถจดจำลักษณะจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมได้เนื่องจากผิวเซลล์จะมีโปรตีนที่เป็นตัวรับที่จำเพาะต่อแอนติเจนต่าง ๆ มากมาย โดยปกติลิมโฟไซต์พบในระบบหมุนเวียนเลือด ระบบน้ำเหลือง อวัยวะและเนื้อเยื่อในระบบภูมิคุ้มกัน



รูป 16.4 ลิมโฟไซต์

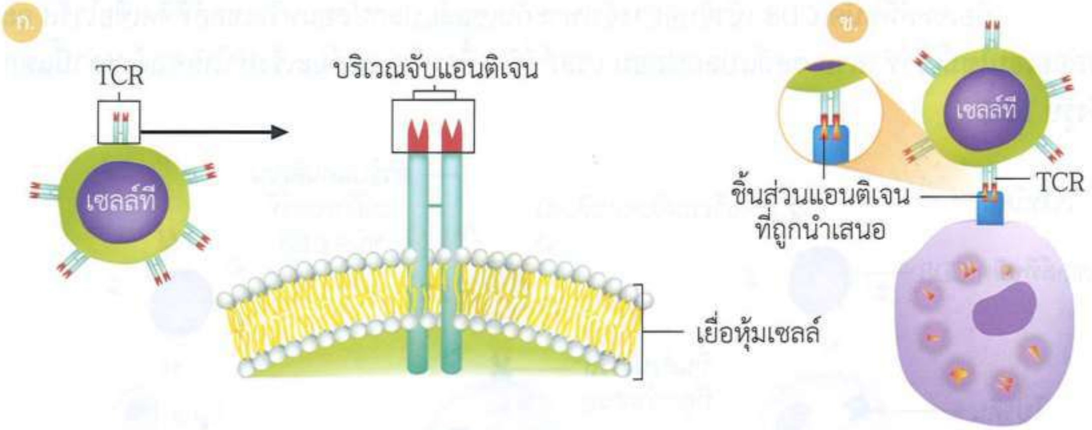
ลิมโฟไซต์ที่สำคัญ คือ **ทีลิมโฟไซต์** (T lymphocyte) หรือ **เซลล์ที** (T cell) และ**บีลิมโฟไซต์** (B lymphocyte) หรือ **เซลล์บี** (B cell)

กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะโดยการทำงานของลิมโฟไซต์ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที และเซลล์บี **เซลล์ทีและเซลล์บีมีกลไกการทำงานอย่างไรจึงทำให้เกิดการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมได้**

กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์ที

บนผิวของเซลล์ทีจะมีตัวรับแอนติเจน ที่เรียกว่า **ตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ที** (T cell receptor; TCR) สำหรับจับกับชิ้นส่วนแอนติเจนอย่างจำเพาะ ดังรูป 16.5 ก. การจับอย่างจำเพาะระหว่างแอนติเจนและตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ทีเกิดขึ้นได้เพราะที่ปลายแขนของตัวรับมีตำแหน่งเรียกว่า **บริเวณจับแอนติเจน** (antigen binding site) ซึ่งสามารถจับกับชิ้นส่วนแอนติเจนที่ถูกนำเสนอโดยเซลล์นำเสนอแอนติเจนได้อย่างพอดี ดังรูป 16.5 ข. จากนั้นจะเกิดการกระตุ้นการทำงานของลิมโฟไซต์ชนิดต่าง ๆ ต่อไป

เซลล์ทีในร่างกายมีหลายชนิด เซลล์ทีที่สำคัญในกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ คือ **เซลล์ทีผู้ช่วย** (helper T cell) หรือเซลล์ทีชนิด CD4 และ**เซลล์ทีที่ทำลายเซลล์แปลกปลอม** (cytotoxic T cell) หรือเซลล์ทีชนิด CD8 โดยมีหน้าที่แตกต่างกันไป



รูป 16.5 ความจำเพาะของเซลล์ที
ก. ตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ที
ข. การจับระหว่างตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ทีกับชิ้นส่วนแอนติเจนที่ถูกนำเสนอ

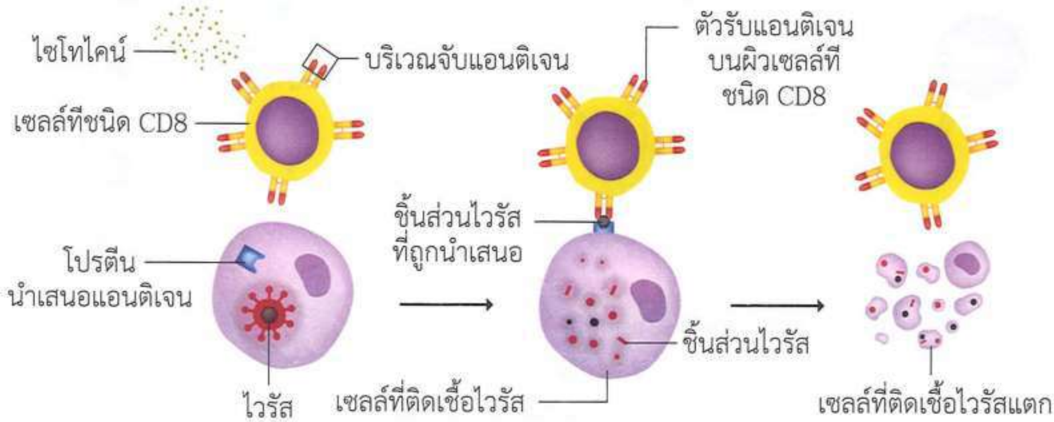
ในกรณีของเซลล์ร่างกายที่ติดเชื้อไวรัส เซลล์ร่างกายกลายเป็นเซลล์มะเร็ง หรือเซลล์จากอวัยวะที่เปลี่ยนถ่ายจากบุคคลอื่นจะแสดงแอนติเจนบนผิวของเซลล์เหล่านี้ทำให้เซลล์ทีชนิด CD8 เข้าทำลายเซลล์ดังกล่าวได้อย่างจำเพาะ **เซลล์ทีชนิด CD4 มีการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมเหมือนหรือแตกต่างจากเซลล์ทีชนิด CD8 อย่างไร**

เซลล์ทีชนิด CD4 มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการทำงานของเซลล์อื่น ๆ ในระบบภูมิคุ้มกัน โดยเมื่อตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ทีชนิด CD4 จับกับชิ้นส่วนแอนติเจนที่ถูกนำเสนอจากเซลล์นำเสนอแอนติเจน จะมีการส่งสัญญาณโดยการปล่อย**ไซโทไคน์** (cytokine) ไปยังเซลล์อื่น ๆ ทำให้เกิดการตอบสนอง เช่น กระตุ้นเซลล์ทีชนิด CD8 ให้เกิดการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเซลล์แปลกปลอมหรือเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส

รู้หรือไม่

ไซโทไคน์ คือ โปรตีนขนาดเล็ก สร้างจากเซลล์เม็ดเลือดขาวและเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย ทำหน้าที่สื่อสารระหว่างเซลล์ต่าง ๆ ในระบบภูมิคุ้มกัน มีบทบาททั้งในกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ

เมื่อเซลล์ทีชนิด CD8 เข้าจับอย่างจำเพาะกับเซลล์แปลกปลอมหรือเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส จะปล่อยเอนไซม์เข้าทำลายเซลล์แปลกปลอม เซลล์ที่ติดเชื้อหรือเซลล์มะเร็งทำให้เซลล์เหล่านี้แตก ดังรูป 16.6

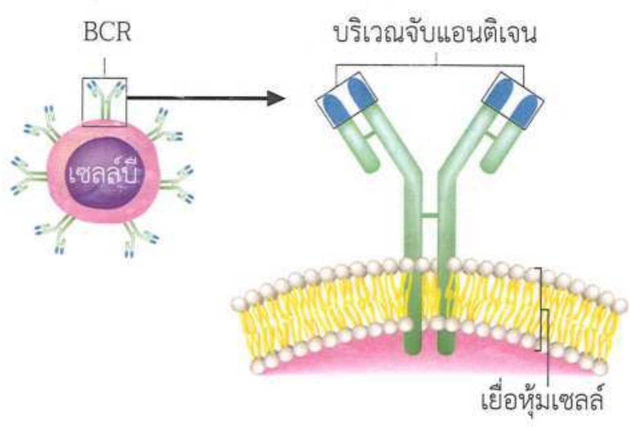


รูป 16.6 การกำจัดเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสโดยเซลล์ทีชนิด CD8

นอกจากนี้ไซโทไคน์ยังกระตุ้นการทำงานของเซลล์บีซึ่งเป็นลิมโฟไซต์อีกชนิดหนึ่งด้วย **เซลล์บีสามารถต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมได้อย่างไร**

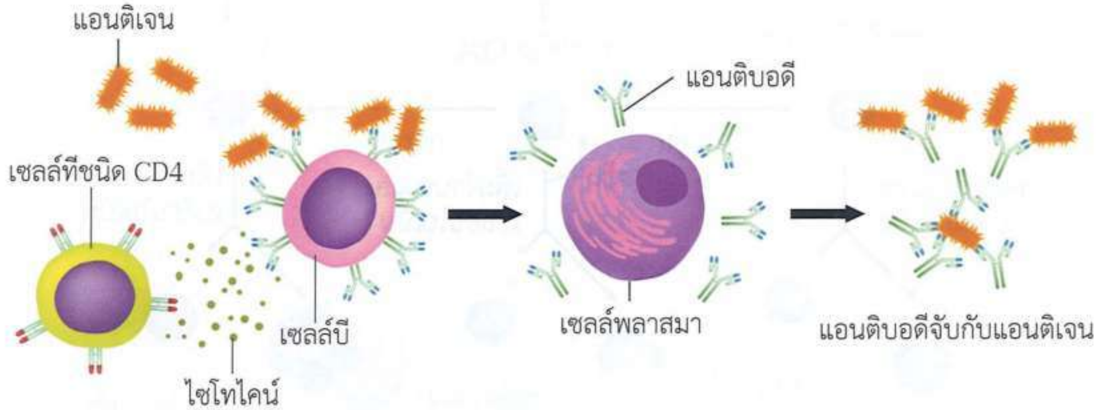
กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์บี

บริเวณผิวเซลล์ของเซลล์บีจะมีตัวรับแอนติเจน ที่เรียกว่า **ตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์บี** (B cell receptor; BCR) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปตัว Y ช่วยให้เซลล์บีสามารถจับอย่างจำเพาะกับแอนติเจนได้ ตัวรับแอนติเจนของเซลล์บีมีบริเวณจับแอนติเจน 2 ตำแหน่ง ดังรูป 16.7



รูป 16.7 ตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์บี

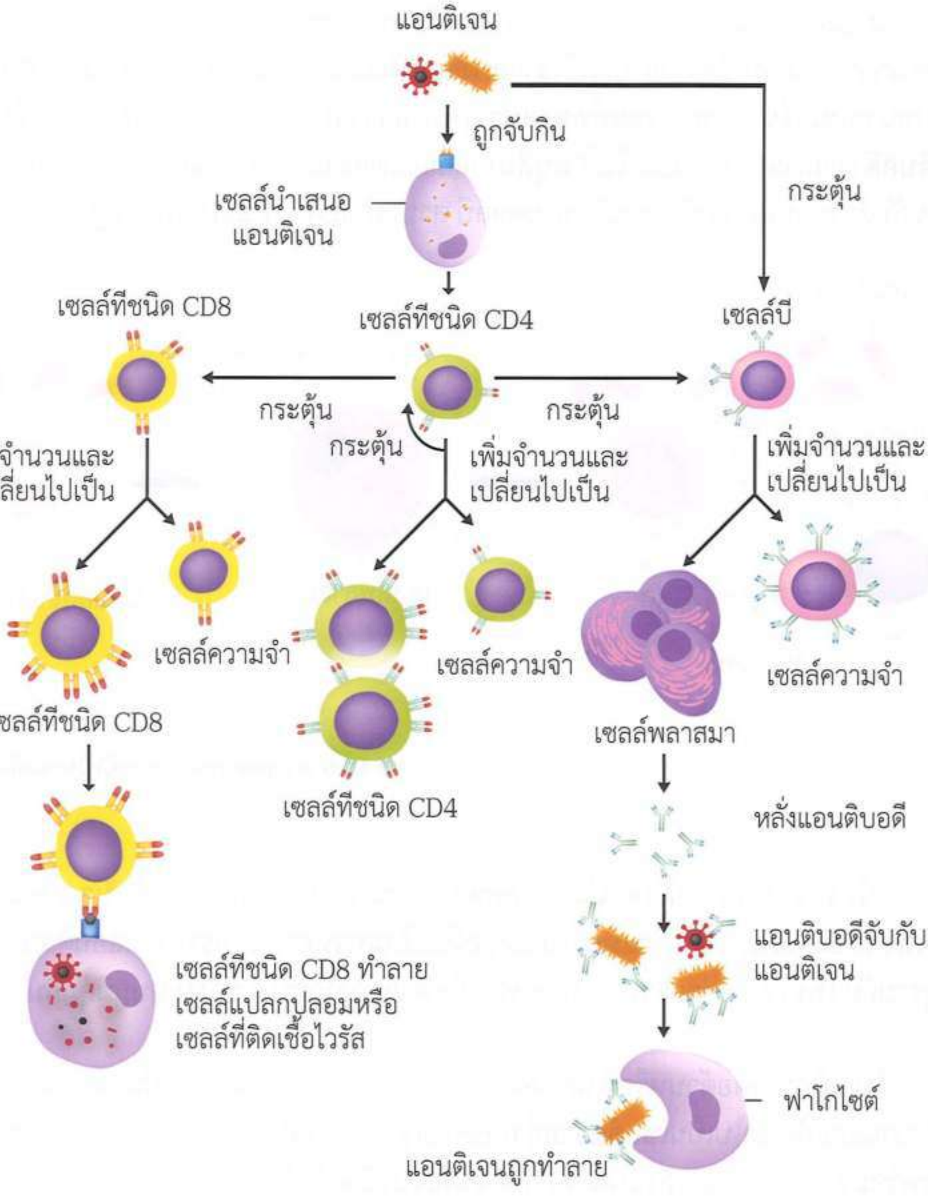
เมื่อแอนติเจนจับกับตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์บี พร้อมกับได้รับการกระตุ้นจากไซโทไคน์ที่ปล่อยมาจากเซลล์ทีชนิด CD4 เซลล์บีจะถูกกระตุ้นให้แบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนและเซลล์ส่วนหนึ่งพัฒนารูปร่างขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า **เซลล์พลาสมา** (plasma cell) และหลั่งสารประเภทโปรตีนที่เรียกว่า **แอนติบอดี** (antibody) หรือ**อิมมูโนโกลบูลิน** (immunoglobulin; Ig) ซึ่งมีโครงสร้างและความจำเพาะเหมือนกับตัวรับแอนติเจนที่อยู่บนผิวของเซลล์บี สามารถจับกับแอนติเจนได้ ดังรูป 16.8



รูป 16.8 การพัฒนาของเซลล์บีเป็นเซลล์พลาสมา

เนื่องจากแอนติบอดีแต่ละโมเลกุลที่หลั่งออกมาจากเซลล์พลาสมามีบริเวณจับแอนติเจนที่สามารถจับกับแอนติเจนได้ 2 ตำแหน่ง แอนติบอดีจึงเป็นสารที่ทำหน้าที่รวบรวมแอนติเจนจำนวนมากมาอยู่รวมกัน เพื่อให้ง่ายต่อการทำลายโดยฟาโกไซต์และกลไกอื่น ๆ ของระบบภูมิคุ้มกัน

ในกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ เซลล์บีและเซลล์ทีส่วนหนึ่งจะเพิ่มจำนวนและพัฒนาไปเป็น**เซลล์ความจำ** (memory cell) จำนวนมากที่มีความจำเพาะต่อแอนติเจนนั้นซึ่งพร้อมที่จะตอบสนอง ดังนั้นเมื่อได้รับแอนติเจนชนิดเดิมอีกครั้งจะเพิ่มจำนวนและเปลี่ยนเป็นเซลล์พลาสมาที่สร้างแอนติบอดีได้อย่างรวดเร็ว กลไกการทำงานร่วมกันของลิมโฟไซต์และเซลล์นำเสนอแอนติเจนรวมทั้งการตอบสนองของเซลล์อื่น ๆ ในระบบภูมิคุ้มกันสามารถสรุปได้ ดังรูป 16.9



รูป 16.9 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ

ตรวจสอบความเข้าใจ

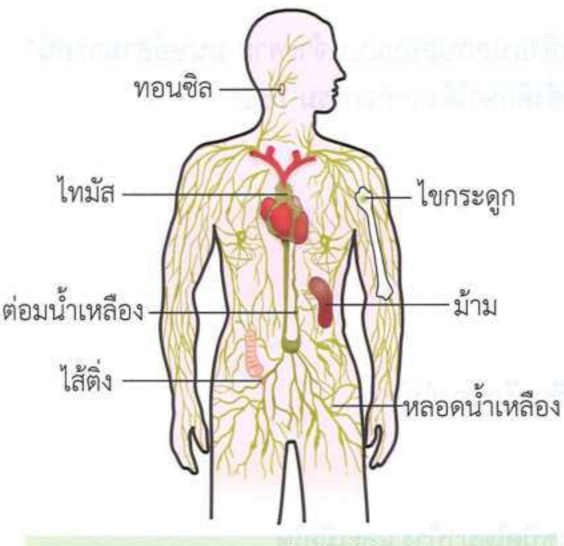
? คางทูม อีสุกอีใส มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อไวรัส สามารถติดต่อได้ผ่านทางระบบหายใจจากการไอหรือจาม การหายใจรดกัน หรือการสัมผัสสารคัดหลั่งที่มีเชื้อไวรัสปะปนอยู่ เช่น น้ำลาย น้ำมูก แต่ผู้ที่เคยป่วยและรักษาจนหายดีแล้ว หากได้รับเชื้อไวรัสชนิดเดิมจะไม่เป็นโรคหรือมีอาการไม่รุนแรง เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

อวัยวะและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์

โครงสร้างของระบบภูมิคุ้มกันประกอบด้วยอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์ดังนี้

- อวัยวะที่ทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ รวมทั้งลิมโฟไซต์ คือ ไขกระดูก
- อวัยวะที่พัฒนาเซลล์บีจนสมบูรณ์ คือ ไขกระดูก ส่วนอวัยวะที่พัฒนาเซลล์ทีจนสมบูรณ์ คือ ไทมัส
- อวัยวะที่ทำหน้าที่ดักจับและทำลายสิ่งแปลกปลอม คือ ม้าม ต่อมน้ำเหลือง
- เนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ ของร่างกายที่ทำหน้าที่ป้องกัน ดักจับ และทำลายสิ่งแปลกปลอม เช่น ทอนซิลบริเวณคอ เนื้อเยื่อน้ำเหลืองที่ผนังทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ ไส้ติ่ง

ลิมโฟไซต์ลำเลียงไปทั่วร่างกายผ่านทางหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลือง และสะสมในอวัยวะและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน ดังรูป 16.10



รูป 16.10 อวัยวะและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์

ความรู้เพิ่มเติม

ไส้ติ่ง (appendix) มีลักษณะเป็นท่อปลายตันอยู่ตรงลำไส้ใหญ่ส่วนต้น ยาวประมาณ 2-7 เซนติเมตร ภายในมีลิมโฟไซต์อยู่หนาแน่น ไส้ติ่งเป็นโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน รวมทั้งอาจเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อระบบย่อยอาหาร

กิจกรรมเสนอแนะ : อวัยวะและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูล ระบุ และอธิบายเกี่ยวกับหน้าที่และโรคหรือความผิดปกติของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์

วิธีการทำกิจกรรม

1. จากรูป 16.10 ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมในหัวข้อต่อไปนี้
   - หน้าที่ของอวัยวะและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์
   - โรคหรือความผิดปกติที่อาจเกิดกับอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์
2. สรุปและนำเสนอในรูปแบบของแผนภาพหรือ infographic

16.2 การสร้างเสริมภูมิคุ้มกัน

จากการศึกษากลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ มนุษย์สามารถนำความรู้ที่ได้มาผลิตและพัฒนาวัคซีนเพื่อป้องกันโรคซึ่งศึกษาได้จากกิจกรรม 16.2

กิจกรรม 16.2 สำรวจการฉีดวัคซีน

จุดประสงค์

เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญในการฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรค

วิธีการทำกิจกรรม

1. สำรวจสมาชิกในห้องเรียนว่าเคยได้รับวัคซีนชนิดใดมาบ้าง และเมื่อใด
2. สำรวจสมาชิกในครอบครัวของนักเรียนว่าเคยได้รับวัคซีนชนิดใดมาบ้าง
3. นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมานำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ

คำถามท้ายกิจกรรม

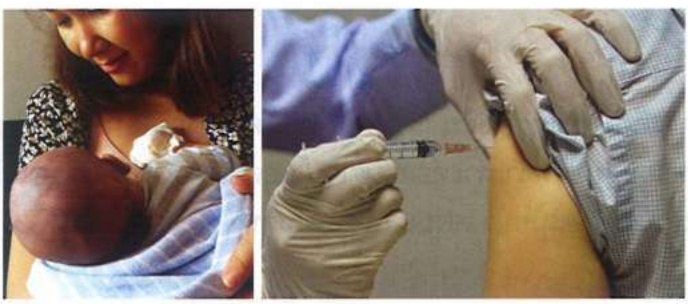
? วัคซีนป้องกันโรคใดที่นักเรียนส่วนใหญ่จะได้รับเหมือนกัน

? การได้รับวัคซีนสามารถได้รับโดยวิธีใดบ้าง

? หากได้รับวัคซีนป้องกันโรคใดโรคหนึ่งแล้ว ยังมีโอกาสเป็นโรคนั้นอีกหรือไม่ เพราะเหตุใด

? เหตุใดจึงควรฉีดวัคซีนป้องกันเชื้อไข้หวัดใหญ่ทุก ๆ ปี

ประชากรไทยจะได้รับวัคซีนที่มีความจำเป็นพื้นฐานตั้งแต่แรกเกิด จนถึงวัยเรียนที่อายุประมาณ 11-12 ปี โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย เมื่อเติบโตเป็นผู้ใหญ่ก็จะมีการฉีดวัคซีนบางชนิดสำหรับป้องกันโรคเฉพาะอย่าง เช่น วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อร่างกายได้รับวัคซีนแล้วจะกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้สร้างภูมิคุ้มกันไว้เพื่อต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นได้ **การสร้างเสริมภูมิคุ้มกันในรูป 16.11 ก. และ ข. เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร**



รูป 16.11 การสร้างเสริมภูมิคุ้มกัน

ก. การให้น้ำนมลูก ข. การฉีดวัคซีน

การสร้างเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ **ภูมิคุ้มกันรับมา** (passive immunization) และ**ภูมิคุ้มกันก่อเอง** (active immunization) ซึ่งการสร้างภูมิคุ้มกันทั้ง 2 แบบนี้อาศัยหลักการในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะที่ได้ศึกษามาแล้ว

16.2.1 ภูมิคุ้มกันรับมา

ภูมิคุ้มกันรับมาเป็นวิธีที่ร่างกายได้รับแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อแอนติเจนเข้าไป เพื่อให้ร่างกายตอบสนองต่อแอนติเจนชนิดนั้นได้ทันที แต่แอนติบอดีที่ได้รับมานี้จะอยู่ในร่างกายได้ไม่นาน อาจเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือนขึ้นอยู่กับปริมาณแอนติบอดีนั้น ตัวอย่างภูมิคุ้มกันรับมา เช่น การได้รับภูมิคุ้มกันจากแม่ การได้รับเซรุ่มหรือซีรัม

การได้รับภูมิคุ้มกันจากแม่

โดยทั่วไปลูกได้รับแอนติบอดีตั้งแต่อยู่ในครรภ์แม่ผ่านทางรก ดังนั้นถ้าแม่ได้รับภูมิคุ้มกันโรคใดโรคหนึ่งมาก่อนการตั้งครรภ์ลูกก็จะได้รับภูมิคุ้มกันด้วย เมื่อคลอดออกมาก็จะมีภูมิคุ้มกันต่อโรคนั้นชั่วคราวประมาณ 2-3 เดือนหลังคลอด นอกจากนี้แอนติบอดียังสามารถส่งผ่านจากแม่สู่ลูกได้ทางน้ำนม โดยเฉพาะน้ำนมที่หลั่งหลังจากคลอดใหม่ ๆ ซึ่งการให้ภูมิคุ้มกันแก่ลูกในช่วงแรกนี้เป็นสิ่งจำเป็นจนกว่าร่างกายของลูกจะสามารถพัฒนาภูมิคุ้มกันของตนเองได้ องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้แนะนำว่าแม่ควรให้น้ำนมบุตรเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน

รู้หรือไม่

น้ำนมแม่ที่หลั่งในช่วง 1-3 วันแรกหลังจากคลอดเรียกว่า นมน้ำเหลือง (colostrum) มีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากซึ่งเหมาะสมต่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตของทารก มีแอนติบอดีและโปรตีนต่าง ๆ ที่ช่วยสร้างเสริมภูมิคุ้มกัน เพราะเด็กแรกเกิดระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาได้ไม่เต็มที่

การได้รับเซรุ่มหรือซีรัม

การได้รับแอนติบอดีโดยการฉีด**เซรุ่มหรือซีรัม** (serum) ที่สกัดได้จากเลือดสัตว์ เช่น ม้า การฉีดเซรุ่มนี้จะทำให้ร่างกายได้รับแอนติบอดีที่จำเพาะต่อแอนติเจนโดยตรง สามารถกำจัดแอนติเจนนั้นได้ทันที ตัวอย่างเช่น เซรุ่มป้องกันโรคพิษสุนัขบ้า เซรุ่มแก้พิษงู เป็นต้น

ความรู้เพิ่มเติม

สถานที่ผลิตเซรุ่มแหล่งใหญ่ที่สุดในประเทศไทย คือ สถานเสาวภา สภากาชาดไทย เซรุ่มเตรียมได้จากเลือดของม้า โดยการฉีดแอนติเจน เช่น พิษงู เชื้อพิษสุนัขบ้า ให้กับม้าเพื่อกระตุ้นให้สร้างแอนติบอดี แล้วเจาะเก็บเลือดของม้ามาแยกส่วนที่เป็นซีรัมซึ่งมีแอนติบอดีที่ต้องการออกมาเพื่อนำไปใช้ต่อไป

16.2.2 ภูมิคุ้มกันก่อเอง

ภูมิคุ้มกันก่อเองเป็นภูมิคุ้มกันที่เกิดเมื่อร่างกายได้รับแอนติเจนเข้าไปแล้วสร้างแอนติบอดีหรือกระตุ้นเซลล์ทีที่จำเพาะต่อแอนติเจนนั้นขึ้นมาต่อต้าน ขณะเดียวกันร่างกายมีการสร้างเซลล์ความจำที่มีความจำเพาะต่อแอนติเจนนี้เตรียมไว้ เมื่อได้รับแอนติเจนเดิมก็จะสามารถกระตุ้นเซลล์บีให้สร้าง

แอนติบอดีหรือกระตุ้นเซลล์ทีที่จำเพาะต่อแอนติเจนเดิมได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้ป่วยที่เป็นโรค เช่น คางทูม อีสุกอีใส และหายป่วยแล้วเมื่อได้รับเชื้อโรคเดิมจะไม่ป่วยด้วยเชื้อโรคนั้นอีกหรือถ้าป่วยก็จะมีอาการไม่รุนแรง

วัคซีน

การให้วัคซีนเพื่อป้องกันโรคต่าง ๆ เป็นการกระตุ้นภูมิคุ้มกันเช่นเดียวกับการได้รับเชื้อโรคตามธรรมชาติ เพื่อเตรียมพร้อมที่จะตอบสนองอย่างรวดเร็ว วัคซีนอาจผลิตได้จากส่วนประกอบของเชื้อโรค เชื้อโรคที่ตายแล้ว เชื้อโรคที่อ่อนกำลังลง หรือสารพิษของเชื้อโรคที่ทำให้หมดสภาพความเป็นพิษ แต่ยังคงมีความสามารถในการทำหน้าที่เป็นแอนติเจน การฉีดวัคซีนมีประโยชน์ต่อมนุษย์มาก เพราะช่วยป้องกันโรคที่เป็นอันตรายหรือโรคที่สามารถติดต่อไปยังคนอื่นได้ เช่น วัคซีนป้องกันโรคโปลิโอ วัคซีนป้องกันโรคคอตีบ - บาดทะยัก - ไอกรน วัคซีนป้องกันมะเร็งปากมดลูกที่มีสาเหตุจากการติดเชื้อ HPV (human papillona virus) วัคซีนโรคไข้หวัดใหญ่ (influenza) เป็นต้น

ความรู้เพิ่มเติม

ทอกซอยด์ (toxoid) คือ วัคซีนที่ผลิตโดยการนำสารพิษของแบคทีเรียที่เป็นส่วนสำคัญในการก่อโรคมาทำให้หมดฤทธิ์แต่ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดภูมิคุ้มกันโรคได้ เช่น วัคซีนป้องกันโรคคอตีบ และวัคซีนป้องกันโรคบาดทะยัก

ipst.me/9207

การผลิตวัคซีนและเซรุ่ม วัคซีนและเซรุ่มมีขั้นตอนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และต้องทำในระบบปิดที่ปลอดเชื้อ นักเรียนสามารถศึกษาการผลิตวัคซีนและเซรุ่มได้จาก QR code

ตรวจสอบความเข้าใจ

? การให้วัคซีนและการให้เซรุ่มมีผลต่อร่างกายเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ชวนคิด

? เพราะเหตุใดเมื่อถูกงูกัดจึงต้องจดจำลักษณะของงูที่กัด

ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะได้รับวัคซีนป้องกันโรคต่าง ๆ ซึ่งเป็นวัคซีนที่มีความจำเป็นพื้นฐาน ตั้งแต่แรกเกิดจนถึงวัยเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โดยกองป้องกันโรคด้วยวัคซีน สมาคมโรคติดเชื้อในเด็กแห่งประเทศไทย ได้แนะนำให้ผู้ปกครองพาบุตรหลานเข้ารับบริการฉีดวัคซีนที่มีความจำเป็นพื้นฐานโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายที่สถานพยาบาลทุกแห่งในเครือข่ายของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) เพื่อกระตุ้นให้ร่างกายสร้างเสริมภูมิคุ้มกันต่อโรคต่าง ๆ เป็นระยะดังตาราง 16.1

ตาราง 16.1 การให้วัคซีนในเด็กไทยปกติเพื่อสร้างเสริมภูมิคุ้มกันก่อเองให้กับร่างกายตั้งแต่แรกเกิด

อายุ	วัคซีนที่จำเป็นต้องให้กับเด็กทุกคน
แรกเกิด	• วัคซีนป้องกันวัณโรค • วัคซีนป้องกันไวรัสตับอักเสบบี ครั้งที่ 1
2 เดือน	• วัคซีนป้องกันคอตีบ - บาดทะยัก - ไอกรน - ไวรัสตับอักเสบบี ครั้งที่ 1 • หยอดวัคซีนโปลิโอ ครั้งที่ 1
4 เดือน	• วัคซีนป้องกันคอตีบ - บาดทะยัก - ไอกรน - ไวรัสตับอักเสบบี ครั้งที่ 2 • หยอดวัคซีนโปลิโอ ครั้งที่ 2 ร่วมกับวัคซีนโปลิโอชนิดฉีด
6 เดือน	• วัคซีนป้องกันคอตีบ - บาดทะยัก - ไอกรน - ไวรัสตับอักเสบบี ครั้งที่ 3 • หยอดวัคซีนโปลิโอ ครั้งที่ 3
6 เดือน - 2 ปี	• วัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ 2 เข็ม ห่างกันเข็มละ 1 เดือน
9-12 เดือน	• วัคซีนป้องกันหัด - หัดเยอรมัน - คางทูม ครั้งที่ 1 • วัคซีนป้องกันไข้สมองอักเสบเจอี ครั้งที่ 1
18 เดือน	• วัคซีนป้องกันคอตีบ - บาดทะยัก - ไอกรน กระตุ้น ครั้งที่ 1 • หยอดวัคซีนโปลิโอ กระตุ้น ครั้งที่ 1
2 ปี 6 เดือน	• วัคซีนป้องกันหัด - หัดเยอรมัน - คางทูม ครั้งที่ 2 • วัคซีนป้องกันไข้สมองอักเสบเจอี ครั้งที่ 2
4-6 ปี	• วัคซีนป้องกันคอตีบ - บาดทะยัก - ไอกรน กระตุ้น ครั้งที่ 2 • หยอดวัคซีนโปลิโอ กระตุ้น ครั้งที่ 2
11-12 ปี (เด็กหญิงชั้นประถมศึกษาปีที่ 5)	• วัคซีนป้องกันมะเร็งปากมดลูกจากเชื้อ HPV ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ห่างกันเข็มละ 6 เดือน
11-12 ปี	• วัคซีนป้องกันบาดทะยัก - คอตีบ และหลังจากนี้ให้ฉีดป้องกันทุก ๆ 10 ปี

(ที่มา: ปรับจากตารางการให้วัคซีนในเด็กไทยปกติ โดยสมาคมโรคติดเชื้อในเด็กแห่งประเทศไทย 2561)

นอกจากวัคซีนในตาราง 16.1 แล้วยังมีวัคซีนป้องกันโรคอื่น ๆ ที่สามารถฉีดเพิ่มเติมได้ เช่น วัคซีนโรต้า วัคซีนไข้เลือดออก โดยสามารถสืบค้นเพิ่มเติมได้ที่เว็บไซต์กระทรวงสาธารณสุข สมาคมโรคติดเชื้อในเด็กแห่งประเทศไทยหรือสถาบันวัคซีนแห่งชาติ (องค์กรมหาชน)

วัคซีนบางชนิดได้รับเพียงครั้งเดียวก็สามารถป้องกันโรคได้ ส่วนบางชนิดต้องได้รับเป็นระยะต่อเนื่องกัน เนื่องจากวัคซีนของเชื้อโรคแต่ละชนิดมีระยะเวลาในการคุ้มกันร่างกายจากโรคไม่เท่ากัน หลังการได้รับวัคซีนครั้งแรกร่างกายจะผลิตแอนติบอดีเพื่อตอบสนองต่อวัคซีน เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของแอนติบอดีในเลือดจะลดน้อยลงเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัคซีนนั้น ๆ จึงต้องให้วัคซีนป้องกันโรคบางชนิดเป็นระยะ ๆ เพื่อกระตุ้นให้ร่างกายผลิตแอนติบอดีสู่กระแสเลือดในความเข้มข้นที่เพียงพอสำหรับต่อต้านการติดเชื้อได้ นอกจากนี้การให้วัคซีนยังต้องคำนึงถึงวัยของผู้ที่ได้รับวัคซีนด้วย

รู้หรือไม่

การเดินทางไปพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคอหิวาตกโรค ควรฉีดวัคซีนป้องกันก่อนไปทุกครั้ง เพราะเชื้ออหิวาตกโรคมีระยะการฟักตัวในร่างกายน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ร่างกายสร้างแอนติบอดีไม่ทัน จึงต้องกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้เตรียมพร้อมก่อนได้รับเชื้อ

ชวนคิด

- ? เพราะเหตุใดจึงต้องได้รับวัคซีนชนิดเดียวกันซ้ำกันเป็นระยะ ๆ
- ? โรคบางชนิด เช่น คอตีบ ไม่จำเป็นต้องได้รับการฉีดวัคซีนกระตุ้นในวัยผู้ใหญ่ เพราะเหตุใด

รู้หรือไม่

ในผู้ใหญ่หรือผู้สูงอายุ การฉีดวัคซีนป้องกันโรคบางชนิดยังมีความจำเป็น เช่น วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ต่าง ๆ สำหรับนักท่องเที่ยวหรือผู้ที่ต้องเดินทางไปยังประเทศที่มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคบางชนิด ควรรับการฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคไว้ก่อนล่วงหน้า เช่น วัคซีนไข้เหลือง ฉีดก่อนเดินทางไปประเทศในทวีปแอฟริกาหรือทวีปอเมริกาใต้ วัคซีนป้องกันโรคไทฟอยด์ ฉีดก่อนเดินทางไปประเทศในแถบเอเชียใต้

16.3 ความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน

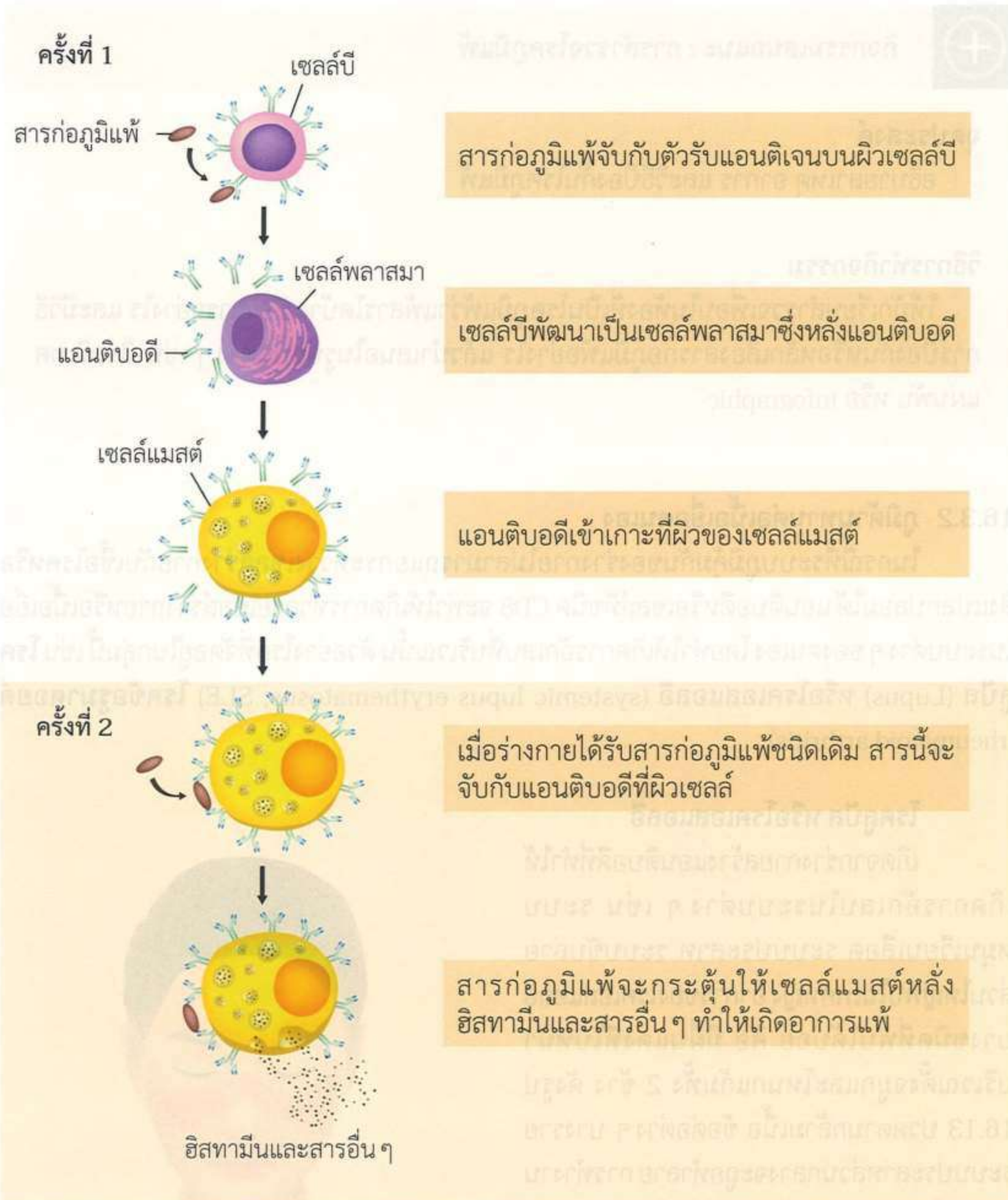
ระบบภูมิคุ้มกันมีความสำคัญอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ช่วยต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่จะเข้าสู่ร่างกาย แต่ในกรณีที่เซลล์เม็ดเลือดขาวไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือเกิดความผิดปกติขึ้น จะทำให้ร่างกายมีโอกาสที่จะรับสิ่งแปลกปลอมและเชื้อโรคได้ง่ายขึ้นหรือเกิดความผิดปกติของร่างกาย จนส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตหรืออาจร้ายแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดังนั้นจึงควรเรียนรู้ถึงสาเหตุ การป้องกัน รวมทั้งวิธีการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย หรือสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ

ความผิดปกติหรือโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันมีหลายโรคซึ่งแต่ละโรคมีสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดแตกต่างกัน โรคที่เกิดจากความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน เช่น **โรคภูมิแพ้** (allergy) ภูมิต้านทานต่อเนื้อเยื่อตนเอง และภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่องจากการติดเชื้อ HIV หรือโรคเอดส์

16.3.1 โรคภูมิแพ้

โรคภูมิแพ้เกิดจากระบบภูมิคุ้มกันมีการตอบสนองต่อแอนติเจนบางอย่างที่ได้รับรุนแรงเกินไป เรียกแอนติเจนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ว่า **สารก่อภูมิแพ้** (allergen) เช่น เกสรดอกไม้ ฝุ่นละออง สารบางชนิดในอาหาร โรคภูมิแพ้สามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิด โรคภูมิแพ้ชนิดที่พบได้ในคนส่วนใหญ่จะมีการตอบสนองต่อสารก่อภูมิแพ้อย่างรวดเร็ว

เมื่อร่างกายได้รับสารก่อภูมิแพ้ เซลล์บีจะพัฒนาเป็นเซลล์พลาสมาและสร้างแอนติบอดีที่จำเพาะต่อสารก่อภูมิแพ้นั้น แอนติบอดีที่สร้างนี้จะไปเกาะที่ผิวของเซลล์แมสต์ที่อยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ หรือผิวของเบโซฟิลที่อยู่ในเลือด เมื่อได้รับสารก่อภูมิแพ้ชนิดเดิมอีกครั้งจะกระตุ้นให้เซลล์แมสต์และเบโซฟิลหลั่งฮิสทามีน ดังรูป 16.12 ซึ่งจะทำให้เกิดอาการต่าง ๆ ขึ้น เช่น ไอ จาม น้ำมูกไหล คันจมูก คันตา กล้ามเนื้อเรียบหดตัว แต่ในบางรายอาจทำให้เกิดอาการแพ้รุนแรงทำให้กล้ามเนื้อเรียบบริเวณทางเดินหายใจหดตัว การหายใจติดขัด หรือเกิดอาการบวมทั่วร่างกายและถึงแก่ชีวิตได้ อาการดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการให้ยา**แอนติฮิสทามีน** (antihistamine)



รูป 16.12 กลไกการหลั่งฮิสทามีนเมื่อร่างกายได้รับสารก่อภูมิแพ้

การป้องกันและหลีกเลี่ยงการเกิดโรคภูมิแพ้คือ หลีกเลี่ยงการได้รับสารก่อภูมิแพ้ รักษาสุขภาพร่างกายให้แข็งแรงอยู่เสมอ รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ ออกกำลังกาย พักผ่อนให้เพียงพอ

กิจกรรมเสนอแนะ : การสำรวจโรคภูมิแพ้

จุดประสงค์

อธิบายสาเหตุ อาการ และวิธีป้องกันโรคภูมิแพ้

วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนสำรวจเพื่อนในห้องที่เป็นโรคภูมิแพ้ว่าแพ้สารใดบ้าง มีอาการอย่างไร และมีวิธีการป้องกันหรือหลีกเลี่ยงสารก่อภูมิแพ้อย่างไร แล้วนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ป้ายนิเทศ แผ่นพับ หรือ infographic

16.3.2 ภูมิต้านทานต่อเนื้อเยื่อตนเอง

ในกรณีที่ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายไม่สามารถแยกระหว่างเซลล์ร่างกายกับเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมได้ แอนติบอดีหรือเซลล์ทีชนิด CD8 จะทำให้เกิดการทำลายเซลล์ร่างกายหรือเนื้อเยื่อในระบบต่าง ๆ ของตนเอง โดยทำให้เกิดการอักเสบที่บริเวณนั้น ตัวอย่างโรคที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น **โรคลูปัส** (Lupus) หรือ**โรคเอสแอลอี** (systemic lupus erythematosus; SLE) **โรคข้อรูมาตอยด์** (rheumatoid arthritis)

โรคลูปัส หรือโรคเอสแอลอี

เกิดจากร่างกายสร้างแอนติบอดีที่ทำให้เกิดการอักเสบในระบบต่าง ๆ เช่น ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบประสาท ระบบขับถ่าย ส่วนใหญ่พบในเพศหญิง อาการของโรคเอสแอลอีบางชนิดที่พบได้บ่อย คือ มีผื่นแดงที่ใบหน้าบริเวณดั้งจมูกและโหนกแก้มทั้ง 2 ข้าง ดังรูป 16.13 ปวดตามกล้ามเนื้อ ข้อต่อต่าง ๆ บางรายระบบประสาทส่วนกลางจะถูกทำลาย การทำงานของหัวใจและไตอาจล้มเหลวได้ ผู้ป่วยบางรายอาจแสดงอาการผิดปกติเพียงอวัยวะใดอวัยวะหนึ่งทีละระบบหรือแสดงอาการพร้อมกันหลายอวัยวะหรือหลายระบบ



รูป 16.13 รูปจำลองผื่นแดงบริเวณใบหน้า

โรคข้อรูมาตอยด์

เกิดจากร่างกายสร้างแอนติบอดีที่ทำให้เกิดการอักเสบที่กระดูกและกระดูกอ่อนที่ข้อต่อ เช่น ข้อมือ ข้อนิ้วมือ ข้อเท้า ข้อนิ้วเท้า โดยทั่วไปผู้ป่วยจะมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้ออยู่ระยะหนึ่ง และจะเริ่มมีอาการปวด บวม และรู้สึกขัดบริเวณข้อต่อ หลังจากนั้นจะมีการอักเสบของข้อต่อเป็นระยะ ๆ ซึ่งจะเริ่มจากข้อต่อที่เล็กก่อน หากไม่รักษาหรือป้องกันกระดูกอ่อนที่ข้อต่ออาจจะสลายและเกิดเป็นผังผืดขึ้นแทนดึงรั้งให้ข้อต่อผิดรูปร่าง ดังรูป 16.14



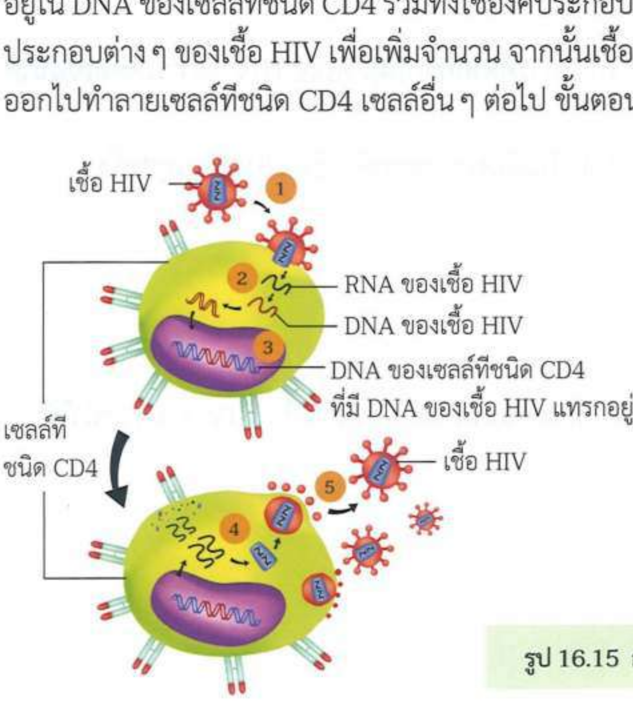
รูป 16.14 โรคข้อรูมาตอยด์

16.3.3 ภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่องจากการติดเชื้อ HIV

ipst.me/9206

เป็นภาวะที่เกิดจากการติดเชื้อ HIV โดย**เซลล์โฮสต์** (host cell) ที่เป็นเป้าหมายหลักของเชื้อ HIV คือ เซลล์ทีชนิด CD4 ซึ่งเป็นศูนย์กลางการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน

เชื้อไวรัสนี้มีสารพันธุกรรมเป็น RNA เมื่อเชื้อ HIV เข้าจับกับเซลล์ทีชนิด CD4 แล้ว ไวรัสจะปล่อย RNA เพื่อจะ**ถอดรหัสย้อนกลับ** (reverse transcription) เป็น DNA ซึ่งสามารถแทรกเข้าไปอยู่ใน DNA ของเซลล์ทีชนิด CD4 รวมทั้งใช้องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ในการสร้าง RNA และองค์ประกอบต่าง ๆ ของเชื้อ HIV เพื่อเพิ่มจำนวน จากนั้นเชื้อ HIV จะทำลายเซลล์ทีชนิด CD4 และหลุดออกไปทำลายเซลล์ทีชนิด CD4 เซลล์อื่น ๆ ต่อไป ขั้นตอนดังกล่าว สรุปได้ดังรูป 16.15



1 เชื้อ HIV เข้าไปจับกับเซลล์ทีชนิด CD4

2 เชื้อ HIV ปล่อย RNA และถอดรหัสย้อนกลับเป็น DNA

3 DNA ของเชื้อ HIV แทรกเข้ารวมกับ DNA ของเซลล์ทีชนิด CD4

4 มีการสร้าง RNA และองค์ประกอบต่าง ๆ ของเชื้อ HIV เพื่อเพิ่มจำนวน

5 เชื้อ HIV ทำลายเซลล์ทีชนิด CD4 และหลุดออกไปจับเซลล์ทีชนิด CD4 เพิ่มมากขึ้น

รูป 16.15 กลไกการทำลายเซลล์ทีชนิด CD4 โดยเชื้อ HIV

ในช่วงแรกของการติดเชื้อ HIV เซลล์ทีชนิด CD4 จะยังไม่ลดจำนวนลงมากนัก แต่เมื่อผ่านไปสักระยะหนึ่งจะลดจำนวนลงเรื่อย ๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันลดลง มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อแทรกซ้อนได้ง่าย เช่น โรคปอดบวม วัณโรค เยื่อหุ้มสมองอักเสบ โรคเชื้อราตามผิวหนังหรือในช่องปาก โรคมะเร็งบางชนิด และหากมีจำนวนเซลล์ทีชนิด CD4 ต่ำมากพร้อมกับมีโรคแทรกซ้อนขึ้นจะเข้าสู่ระยะที่เรียกว่า **โรคเอดส์** (AIDS; acquired immune deficiency syndrome) ดังนั้นผู้ป่วยที่มีเชื้อ HIV อยู่ในร่างกายไม่จำเป็นจะต้องเป็นโรคเอดส์ทุกคน เพราะถ้าดูแลสุขภาพร่างกายดีและปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ ใช้ยาป้องกันการเพิ่มจำนวนของเชื้อ HIV เป็นประจำ ร่างกายก็ยังคงแข็งแรงและลดโอกาสการติดเชื้อแทรกซ้อนได้

เชื้อ HIV สามารถอยู่รอดภายนอกร่างกายได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยอยู่ในของเหลว เมือกหรือสารคัดหลั่งโดยเฉพาะที่ผลิตจากระบบสืบพันธุ์ เชื้อ HIV สามารถติดต่อได้โดยวิธีต่อไปนี้

1. การได้รับเลือดหรือองค์ประกอบอื่น ๆ ของเลือดที่มีเชื้อ HIV
2. การใช้เข็มฉีดยาร่วมกับผู้ติดเชื้อ HIV
3. การมีเพศสัมพันธ์กับผู้ติดเชื้อ HIV โดยไม่ป้องกัน
4. การได้รับเชื้อ HIV จากแม่สู่ลูกขณะตั้งครรภ์และระหว่างคลอด
5. การให้น้ำนมลูกของแม่ที่มีเชื้อ HIV

? การสัมผัสเหงื่อ น้ำลาย หรือน้ำตา ซึ่งเป็นสารคัดหลั่งจากผู้ติดเชื้อ HIV จะทำให้ติดเชื้อนี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

? เพราะเหตุใดการบริจาคเลือดจึงมีความจำเป็นต้องตรวจการติดเชื้อ HIV ก่อนทุกครั้ง

ชวนคิด

? การรับประทานอาหาร หรือการดื่มน้ำที่ใช้ภาชนะร่วมกับผู้ที่ติดเชื้อ HIV สามารถทำให้ติดเชื้อ HIV ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

กิจกรรม 16.3 ความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูล และอธิบายสาเหตุของโรคหรืออาการที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน
2. สืบค้นข้อมูล ระบุสาเหตุ ของภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่องที่เกิดจากการติดเชื้อ HIV และแนวทางในการป้องกันหรือรักษาโรคจากการติดเชื้อ HIV

วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติหรือโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันและภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่องที่เกิดจากการติดเชื้อ HIV หรือโรคเอดส์ ในหัวข้อต่อไปนี้

- สาเหตุ อาการ
- ผลกระทบต่อสุขภาพของร่างกาย
- การป้องกันหรือวิธีรักษา
- ความชุกของโรค (prevalance)

จากนั้นให้นำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ป้ายนิเทศ แผ่นพับ infographic วีดิทัศน์ หรือกิจกรรมรณรงค์ในการป้องกันโรคภายในโรงเรียนหรือชุมชน

ร่างกายมนุษย์สัมผัสกับเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ตลอดเวลา แต่ร่างกายมีระบบภูมิคุ้มกันที่ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นไม่ให้ทำอันตรายกับร่างกาย และเมื่อมีการศึกษา ค้นคว้า ทดลอง เกี่ยวกับกลไกการทำงานของเซลล์ เนื้อเยื่ออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้มนุษย์สามารถผลิตเซรุ่ม วัคซีน เพื่อนำมาใช้สร้างเสริมภูมิคุ้มกัน ป้องกันไม่ให้โรคบางชนิดเกิดการติดต่อหรือแพร่กระจาย แต่ถ้าระบบภูมิคุ้มกันไม่สามารถทำหน้าที่ได้ก็จะทำให้เกิดโรคและมีอันตรายถึงชีวิต ดังนั้นการดูแลร่างกายให้มีสุขภาพแข็งแรง การฉีดวัคซีนเพื่อสร้างเสริมภูมิคุ้มกัน หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอม ก็จะทำให้ภูมิคุ้มกันทำงานได้เป็นปกติและดำเนินชีวิตต่อไปได้

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. ร่างกายมีกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรคโดยการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งแบ่งกลไกการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะ และกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ

2. กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะเกี่ยวข้องกับ ผิวหนัง เหงื่อ น้ำตา น้ำลาย กรดในกระเพาะอาหาร การทำงานของฟาโกไซต์ และการอักเสบ

3. กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะเกิดจากการทำงานของเซลล์นำเสนอแอนติเจนและลิมโฟไซต์ 2 ชนิด คือ เซลล์ทีและเซลล์บี

4. เซลล์ทีชนิด CD4 หลั่งไซโทไคน์ไปกระตุ้นเซลล์อื่นให้ตอบสนอง ส่วนเซลล์ทีชนิด CD8 ทำหน้าที่ทำลายเซลล์แปลกปลอม

5. เซลล์บีเมื่อถูกกระตุ้น จะแบ่งเซลล์และส่วนหนึ่งพัฒนาเป็นเซลล์พลาสมา ทำหน้าที่หลั่งแอนติบอดีที่จำเพาะต่อสิ่งแปลกปลอมนั้น

6. ทั้งเซลล์ทีชนิด CD4 เซลล์ทีชนิด CD8 และเซลล์บี เมื่อถูกกระตุ้นจะเพิ่มจำนวนเป็นเซลล์ความจำ ทำให้การตอบสนองครั้งต่อ ๆ ไป เกิดได้เร็วขึ้น

7. อวัยวะและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือการตอบสนองของลิมโฟไซต์ได้แก่ ไขกระดูก ไทมัส ม้าม ต่อมน้ำเหลือง ทอนซิล เนื้อเยื่อน้ำเหลืองที่ผนังทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ ไส้ติ่ง

8. การสร้างเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ภูมิคุ้มกันรับมาและภูมิคุ้มกันก่อเอง

9. เมื่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติไป อาจทำให้เกิดโรคหรืออาการที่ผิดปกติ เช่น กรณีระบบภูมิคุ้มกันมีการตอบสนองรุนแรงเกินไป หรือระบบภูมิคุ้มกันทำงานลดลงหรือไม่ทำงาน

10. โรคเอดส์เกิดจากเชื้อ HIV เข้าไปทำลายเซลล์ทีชนิด CD4 ทำให้ภูมิคุ้มกันอ่อนแอ สามารถติดต่อได้จากการได้รับเลือดหรือองค์ประกอบอื่น ๆ ของเลือดที่มีเชื้อ HIV การใช้เข็มฉีดยาร่วมกับผู้ติดเชื้อ HIV การมีเพศสัมพันธ์กับผู้ติดเชื้อ HIV โดยไม่ป้องกัน การได้รับเชื้อ HIV จากแม่สู่ลูกขณะตั้งครรภ์และระหว่างคลอด การที่ลูกได้รับน้ำนมจากแม่ที่มีเชื้อ HIV

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 16

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขข้อความโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......1.1 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะเนื่องจากมีความจำเพาะต่อแอนติเจนและการมีเซลล์ความจำต่อแอนติเจนนั้น

....

.......1.2 แมโครฟาจพัฒนามาจากโมโนไซต์ มีหน้าที่ทำลายแอนติเจนและนำเสนอชิ้นส่วนของแอนติเจนบนผิวเซลล์ต่อเซลล์ทีชนิด CD4

....

.......1.3 เซลล์พลาสมาพัฒนามาจากเซลล์ทีชนิด CD4 ที่ถูกกระตุ้น เพื่อสร้างแอนติบอดี

....

.......1.4 เด็กที่เคยได้รับวัคซีนบาดทะยัก เมื่อเข้าสู่วัยหนุ่มสาวจำเป็นต้องได้รับวัคซีนนี้ซ้ำอีก

....

.......1.5 การฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่จะช่วยป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ได้ทุกชนิด

....

.......1.6 เซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสจะถูกเซลล์บีเข้าทำลายได้โดยตรง

....

.......1.7 เซลล์ความจำเกิดจากการแบ่งเซลล์ของเซลล์บีเท่านั้น

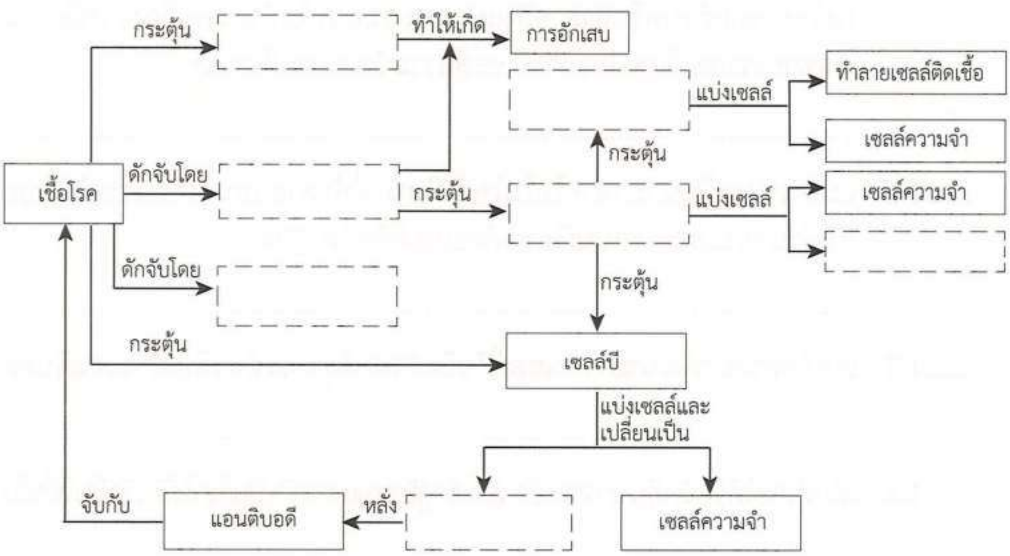
....

.......1.8 ทอกซอยด์ผลิตจากสารพิษของแบคทีเรีย

....

2. เมื่อเชื้อโรคเข้าสู่บาดแผล เซลล์ต่าง ๆ ในระบบภูมิคุ้มกันจะมีการตอบสนองดังแผนภาพ จงนำคำศัพท์ที่กำหนดให้เติมลงในช่องว่างให้ถูกต้อง (ตอบซ้ำได้)

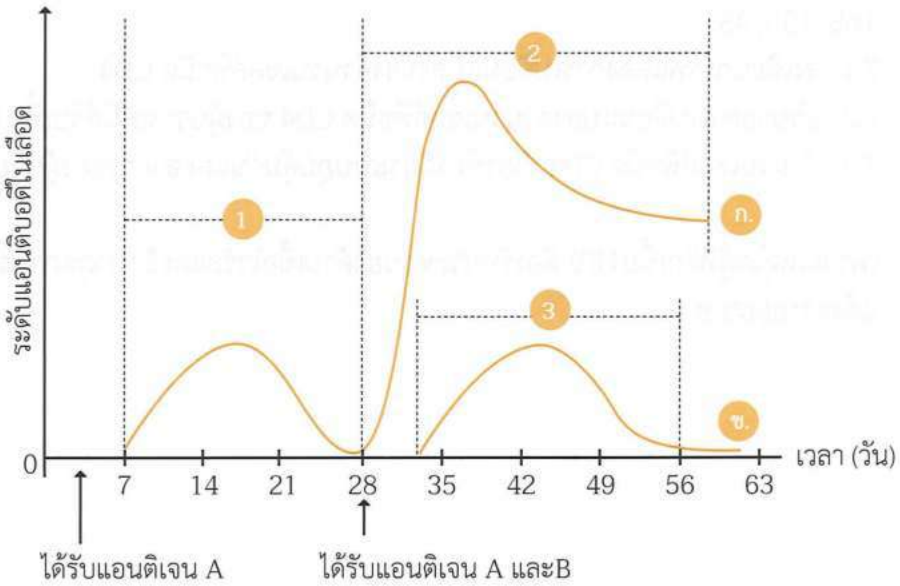
เซลล์แมสต์	แมโครฟาจ	เซลล์พลาสมา
นิวโทรฟิลและโมโนไซต์	เซลล์ทีชนิด CD4	เซลล์ทีชนิด CD8



3. เด็กที่เกิดมาแล้วไม่มีไทมัสจะขาดเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดใด และมีผลต่อร่างกายอย่างไร

4. “ถ้าร่างกายมีจำนวนแมโครฟาจน้อยลงจะมีผลทั้งกลไกการป้องกันหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะทำให้ร่างกายติดเชื้อได้ง่าย” คำกล่าวนี้เป็นจริงหรือไม่ เพราะเหตุใด

5. กราฟแสดงระดับแอนติบอดีที่ตอบสนองต่อแอนติเจน A และแอนติเจน B ในเลือดของชายคนหนึ่ง



จงตอบคำถามต่อไปนี้

5.1 หมายเลขใดแสดงช่วงเวลาของระดับแอนติบอดีในเลือดที่เกิดการตอบสนองครั้งแรกต่อแอนติเจน A และแอนติเจน B

5.2 เพราะเหตุใดระดับแอนติบอดีสูงสุดในเลือดของเส้นกราฟ ก. ที่ช่วงเวลาหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จึงต่างกันและระยะเวลาในการตอบสนองหลังจากได้รับแอนติเจน A ในแต่ละช่วงเวลาจึงไม่เท่ากัน

5.3 เพราะเหตุใดในช่วงเวลาหมายเลข 3 ของเส้นกราฟ ข. จึงมีการตอบสนองคล้ายกับในช่วงเวลาหมายเลข 1 ของเส้นกราฟ ก.

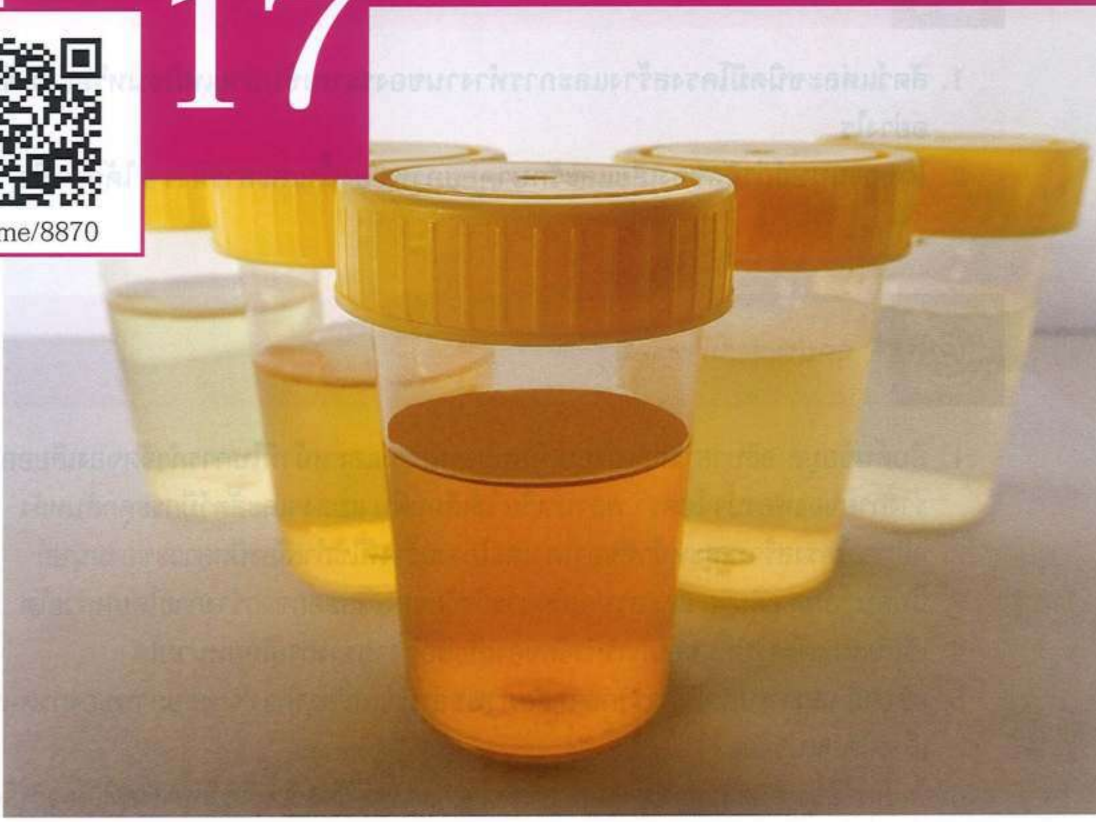
6. ผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายอวัยวะมีความเสี่ยงอย่างไร เพราะเหตุใดแพทย์จึงต้องให้ผู้ป่วยรับประทานยากดภูมิคุ้มกัน

7. ผลการเจาะเลือดทุก ๆ 4 เดือน ของผู้ป่วยรายหนึ่งที่ได้รับเชื้อ HIV พบว่าในช่วงเวลา 6 ปี นับตั้งแต่เริ่มติดเชื้อ จำนวนเซลล์ทีชนิด CD4 ต่อเลือด 1 ไมโครลิตร มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ 662, 743, 684, 798, 763, 528, 597, 442, 446, 360, 287, 199, 260, 225, 197, 168, 155, 48
   7.1 จงเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเซลล์ทีชนิด CD4
   7.2 อธิบายการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ทีชนิด CD4 ของผู้ป่วยหลังได้รับเชื้อ HIV
   7.3 จำนวนเซลล์ทีชนิด CD4 เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันและอาการของผู้ป่วยอย่างไร

8. เพราะเหตุใดผู้ที่ติดเชื้อ HIV ต้องรับประทานยาต้านเชื้อไวรัสและรักษาสุขภาพร่างกายให้แข็งแรงอยู่เสมอ

บทที่ 17 | ระบบขับถ่าย

ipst.me/8870



สี กลิ่น หรือความขุ่นของปัสสาวะสามารถบอกถึงภาวะของร่างกายในขณะนั้นได้ ปัสสาวะที่มีสีเหลืองเข้มอาจเกิดจากการดื่มน้ำน้อย หรือปัสสาวะที่มีสีแดงอาจแสดงว่ามีเซลล์เม็ดเลือดแดงปะปนออกมาซึ่งอาจเกิดจากการทำงานที่ผิดปกติของระบบขับถ่าย การรับประทานวิตามิน ยา หรืออาหารบางชนิดทำให้ปัสสาวะมีสีหรือกลิ่นเหมือนกับสิ่งที่รับประทานเข้าไป ลักษณะดังกล่าวเป็นผลจากการทำงานของไตที่เป็นอวัยวะในระบบขับถ่ายที่ทำหน้าที่กำจัดของเสียซึ่งเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม และรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ในร่างกาย ทำให้ระบบต่าง ๆ ในร่างกายยังคงทำงานได้ตามปกติ **ระบบขับถ่ายมีกลไกในการทำหน้าที่กำจัดของเสียและรักษาดุลยภาพของร่างกายดังกล่าวได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. สัตว์แต่ละชนิดมีโครงสร้างและการทำงานของระบบขับถ่ายเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

2. ไตของมนุษย์กำจัดของเสียและรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ได้อย่างไร

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ในการกำจัดของเสียออกจากร่างกายของฟองน้ำ ไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน แมลง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง
2. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของไต และโครงสร้างที่ใช้ลำเลียงปัสสาวะของมนุษย์
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปกลไกการกำจัดของเสียออกจากร่างกายโดยหน่วยไต
4. เขียนแผนผังสรุปขั้นตอนการกำจัดของเสียออกจากร่างกายโดยหน่วยไต
5. อธิบาย และสรุปกลไกการรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ดุลยภาพของกรด-เบสในเลือดโดยหน่วยไต
6. สืบค้นข้อมูล ยกตัวอย่างและอธิบาย สาเหตุ แนวทางป้องกันหรือรักษาโรคที่เกี่ยวกับไตและโรคที่เกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

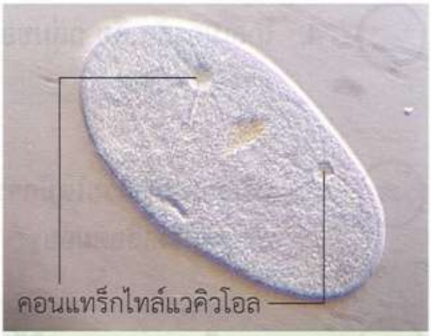
ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. อวัยวะในระบบขับถ่ายของมนุษย์ ได้แก่ ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ และท่อปัสสาวะ
2. ไตทำหน้าที่กำจัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกายและรักษาดุลยภาพของสารต่าง ๆ ในเลือด
3. หน่วยไต คือ หน่วยการทำงานของไต ทำหน้าที่กรอง ดูดกลับ และหลั่งสาร
4. โกลเมอรูลัส คือ กลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่ทำหน้าที่ในการกรองและการดูดกลับสารต่าง ๆ ในเลือด
5. บริเวณท่อหน่วยไตมีการดูดกลับสารบางอย่างที่เป็นประโยชน์ เช่น กรดแอมิโน น้ำ เข้าสู่หลอดเลือดฝอย
6. ของเสียจากเมแทบอลิซึม เช่น แอมโมเนีย ยูเรีย กรดยูริก จะถูกกำจัดออกหรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลงก่อนขับออกจากร่างกาย
7. ปัสสาวะของมนุษย์ประกอบด้วยน้ำ กลูโคส และของเสีย เช่น ยูเรีย
8. ระบบขับถ่ายเกี่ยวข้องกับการขับถ่ายปัสสาวะและการถ่ายอุจจาระ
9. การรับประทานอาหารที่มีสารอาหารต่าง ๆ ในปริมาณที่พอเหมาะ ดื่มน้ำสะอาดให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกายและลดอาหารที่มีรสเค็มเป็นวิธีที่ทำให้ไตทำงานได้เป็นปกติ

สิ่งมีชีวิตจะอาศัยและดำรงชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้อย่างปกตินั้นจะต้องรักษาดุลยภาพของสารต่าง ๆ ในร่างกายตลอดเวลา การขับถ่ายของเสียเป็นกระบวนการสำคัญที่จะช่วยรักษาดุลยภาพสารในร่างกายเพราะภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย ซึ่งทำให้เกิดสารหลายชนิดทั้งที่เป็นประโยชน์และไม่เป็นประโยชน์ โดยสารบางอย่างที่ไม่เป็นประโยชน์นี้หากมีการสะสมจะทำให้เกิดอันตรายกับสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดออกหรือเปลี่ยนเป็นสารที่เป็นอันตรายน้อยลงแล้วกำจัดออกจากร่างกายภายหลัง สารที่ร่างกายจำเป็นต้องกำจัดออกเหล่านี้เรียกว่า ของเสีย โดยเฉพาะของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (nitrogenous waste)

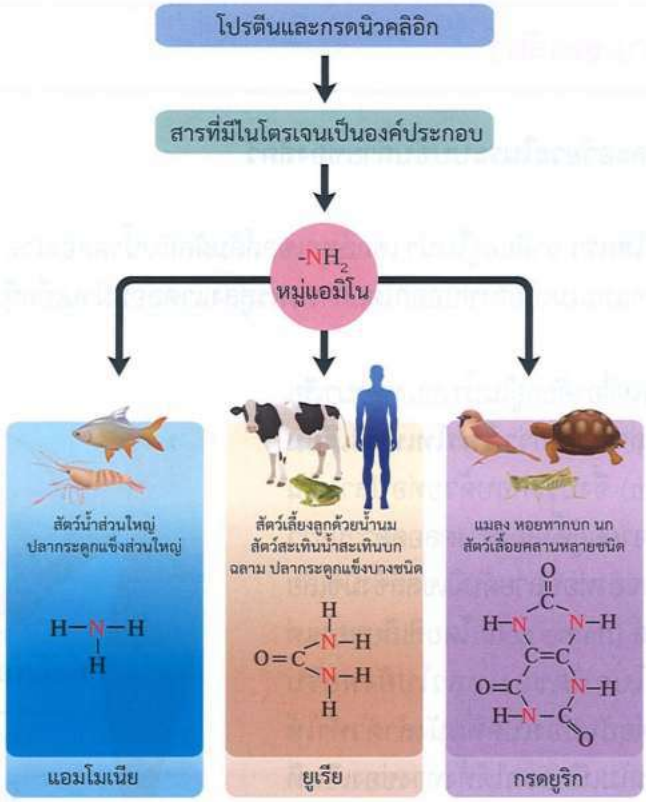
สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสัตว์ต่างก็มีโครงสร้างหรืออวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดของเสียและรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ โดยโครงสร้างหรืออวัยวะนั้นขึ้นอยู่กับวิวัฒนาการและความแตกต่างของสิ่งแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำ ของเสียที่เกิดจากเมแทบอลิซึมจึงแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรง เนื่องจากของเหลวภายในเซลล์มีความเข้มข้นสูงกว่าภายนอกเซลล์ จึงทำให้น้ำจากภายนอกเซลล์แพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น อะมีบาและพารามีเซียมจะมีออร์แกเนลล์ที่เรียกว่า **คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล** (contractile vacuole) ดังรูป 17.1 ช่วยรักษาดุลยภาพของน้ำ โดยขับน้ำที่มีมากเกินออกไปและของเสียบางส่วนก็จะถูกขับออกปนมากับน้ำด้วย



รูป 17.1 คอนแทร็กไทล์แวคิวโอลในพารามีเซียม

ในสัตว์ของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนและกรดนิวคลิอิก ซึ่งในสัตว์ต่าง ๆ มีกลไกในการกำจัดของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบออกนอกร่างกายในรูปที่ต่างกัน ได้แก่ แอมโมเนีย ยูเรีย และกรดยูริก ดังรูป 17.2



รูป 17.2 ของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปต่าง ๆ ของสัตว์และมนุษย์

รูปแบบของของเสียที่แตกต่างกันนี้มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์และเปลี่ยนรูปให้เป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยลง ดังนี้

- **แอมโมเนีย** ละลายน้ำได้ดีแต่มีความเป็นพิษสูงมาก ต้องใช้น้ำปริมาณมากเพื่อทำให้แอมโมเนียมีความเข้มข้นลดลงและกำจัดออก แอมโมเนียเกิดขึ้นเองจากกระบวนการเมแทบอลิซึมจึงไม่ต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอื่น ตัวอย่างของสัตว์ที่ขับแอมโมเนีย เช่น สัตว์น้ำส่วนใหญ่และปลากระดูกแข็งส่วนใหญ่
- **ยูเรีย** ละลายน้ำได้ดีและมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนีย จึงใช้น้ำในการกำจัดออกไม่มาก แต่ต้องใช้พลังงานในการสังเคราะห์แอมโมเนียเป็นยูเรีย ตัวอย่างของสัตว์ที่ขับยูเรีย เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก รวมทั้งฉลามและปลากระดูกแข็งบางชนิด
- **กรดยูริก** ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมากและมีความเป็นพิษน้อยที่สุด จึงใช้น้ำในการกำจัดน้อยมาก แต่ต้องใช้พลังงานมากในการสังเคราะห์แอมโมเนียเป็นกรดยูริก ตัวอย่างของสัตว์ที่ขับกรดยูริก เช่น แมลง หอยทากบก นก และสัตว์เลื้อยคลานที่อาศัยอยู่บนบก

17.1 การขับถ่ายของสัตว์

โครงสร้างและอวัยวะในระบบขับถ่ายของสัตว์

ฟองน้ำและไฮดรา อาศัยอยู่ในน้ำ เซลล์ทุกเซลล์สัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ไม่มีโครงสร้างในการขับถ่าย ของเสียพวกแอมโมเนียจึงขับออกโดยการแพร่สู่สิ่งแวดล้อมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยตรง

หนอนตัวแบน ที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่น พลานาเรีย มีโครงสร้างที่ใช้ขับถ่าย เรียกว่า **โพรโทเนฟริเดียม** (protonephridium) ซึ่งประกอบด้วยท่อปลายตันสานเป็นร่างแหกระจายอยู่ทั้งสองข้างตลอดความยาวของลำตัว ตรงปลายของท่อปลายตันมีเซลล์ซึ่งมีซิเลีย เรียกว่า **เฟลมเซลล์** (flame cell) โดยซิเลียของแต่ละเฟลมเซลล์จะโบกพัดของเหลวไปยังท่อรับของเหลวซึ่งเชื่อมต่อกับช่องเปิดที่ผนังลำตัวทำให้สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกได้ทั้งทางช่องเปิดที่ผนังลำตัวและทางผิวหนัง ดังรูป 17.3



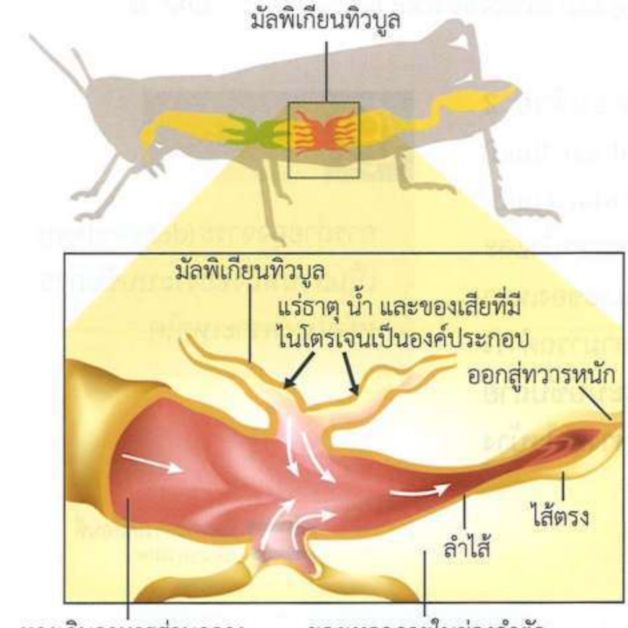
รูป 17.3 โพรโทเนฟริเดียม

ไส้เดือนดิน อาศัยอยู่บนบก มีอวัยวะขับถ่ายของเสีย คือ **เมทาเนฟริเดียม** (metanephridium) พบปล้องละ 1 คู่ มีลักษณะเป็นท่อขดไปขดมา มีปลายเปิดสองข้าง ปลายข้างหนึ่งอยู่ในช่องลำตัวมีลักษณะเหมือนปากแตรเรียกว่า **เนโฟรสโตม** (nephrostome) ทำหน้าที่รับของเหลวจากช่องลำตัว ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเป็นช่องเปิดออกสู่ภายนอกทางผิวหนัง เมทาเนฟริเดียมจะขับของเสียพวกแอมโมเนีย ยูเรีย และมีการดูดกลับน้ำและแร่ธาตุบางชนิดที่มีประโยชน์เข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ดังรูป 17.4



รูป 17.4 เมทาเนฟริเดียม

แมลง ส่วนใหญ่อาศัยอยู่บนบก มีอวัยวะขับถ่ายของเสียเรียกว่า **มัลพิเกียนทิวบูล** (Malpighian tubule) ซึ่งประกอบด้วยท่อเล็ก ๆ จำนวนมาก ท่อเหล่านี้มีลักษณะคล้ายถุงยื่นออกมาจากทางเดินอาหารตรงบริเวณรอยต่อของทางเดินอาหารส่วนกลางกับส่วนท้าย ปลายของมัลพิเกียนทิวบูลจะลอยเป็นอิสระอยู่ในของเหลวภายในช่องลำตัว ดังรูป 17.5 ของเสีย น้ำและสารต่าง ๆ จะถูกลำเลียงเข้าสู่มัลพิเกียนทิวบูลไปยังทางเดินอาหารส่วนกลาง โดยจะมีการดูดกลับสารที่มีประโยชน์เข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ส่วนของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจะเปลี่ยนเป็นกรดยูริกและขับออกมาพร้อมกากอาหารทางทวารหนัก



ชวนคิด

สัตว์กลุ่มเดียวกัน เช่น เต่าบกกับเต่าที่อาศัยอยู่ในน้ำจะมีการกำจัดของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

รูป 17.5 อวัยวะขับถ่ายของแมลงและการขับถ่ายสารต่าง ๆ ของมัลพิเกียนทิวบูล

? จากตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง สัตว์กลุ่มใดที่สูญเสียน้ำในการขับถ่ายของเสียน้อยที่สุด เพราะเหตุใด

สัตว์มีกระดูกสันหลังมี**ไต** (kidney) เป็นอวัยวะขับถ่ายของเสียซึ่งขับของเสียในรูปแบบแตกต่างกัน เช่น ปลากระดูกแข็งส่วนใหญ่ขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนีย นกและสัตว์เลื้อยคลานที่อาศัยอยู่บนบกจะขับถ่ายของเสียในรูปกรดยูริก ส่วนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกส่วนใหญ่จะมีการขับถ่ายของเสียในรูปยูเรีย **ไตของมนุษย์สามารถกำจัดของเสียและรักษาดุลยภาพของร่างกายได้อย่างไร**

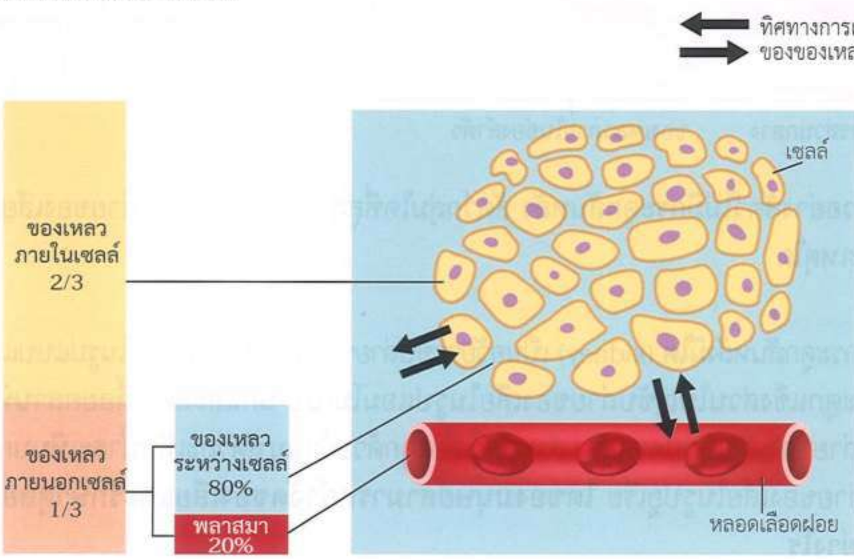
17.2 การขับถ่ายของมนุษย์

ของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกายของมนุษย์ส่วนใหญ่ได้จากการสลายโปรตีนและกรดนิวคลิอิก เช่น แอมโมเนีย ยูเรีย กรดยูริก โดยเฉพาะแอมโมเนียซึ่งมีความเป็นพิษสูง ร่างกายจึงต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของยูเรียที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแล้วจึงกำจัดออกไปโดยการทำงานของ**ระบบขับถ่าย** (excretory system) ซึ่งมีไตเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่ในการขับถ่ายของเสีย นอกจากนี้ไตยังทำหน้าที่รักษาดุลยภาพของของเหลวและสารต่าง ๆ อีกด้วย

ของเหลวในร่างกายมนุษย์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ **ของเหลวภายในเซลล์** (intracellular fluid) และ**ของเหลวภายนอกเซลล์** (extracellular fluid) ดังรูป 17.6 ร่างกายต้องมีการรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ของของเหลวระหว่างภายในเซลล์และของเหลวภายนอกเซลล์ เพื่อให้เซลล์ยังทำหน้าที่และสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยการทำงานของระบบขับถ่าย **ระบบขับถ่ายของมนุษย์ประกอบด้วยอวัยวะหรือโครงสร้างอะไรบ้าง และมีกลไกการทำงานอย่างไร**

ชวนคิด

การถ่ายอุจจาระ (defaecation) เป็นส่วนหนึ่งของระบบขับถ่ายหรือไม่ เพราะเหตุใด

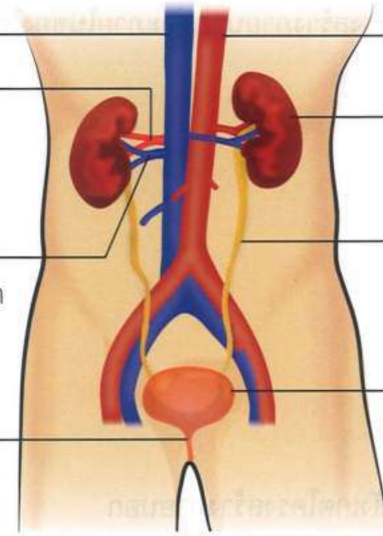


รูป 17.6 ของเหลวในร่างกาย

โครงสร้างและอวัยวะในระบบขับถ่ายของมนุษย์

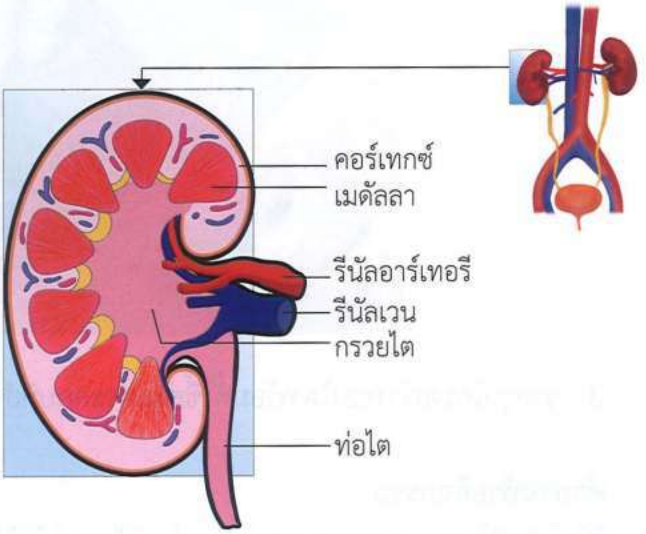
ไตของมนุษย์มีจำนวน 1 คู่ อยู่ในช่องท้องบริเวณกระดูกสันหลังส่วนเอว ต่อจากไตทั้งสองข้างมี**ท่อไต** (ureter) **กระเพาะปัสสาวะ** (urinary bladder) และ**ท่อปัสสาวะ** (urethra) ซึ่งมีหน้าที่ต่าง ๆ ดังรูป 17.7

ipst.me/9211



รูป 17.7 อวัยวะในระบบขับถ่ายของมนุษย์

เมื่อผ่าไตตามแนวยาวจะเห็นเนื้อไตแบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณส่วนนอกหรือ**คอร์เทกซ์** (cortex) และบริเวณส่วนในหรือ**เมดัลลา** (medulla) ส่วนปลายของเมดัลลาจะยื่นเข้าไปจรด**กรวยไต** (pelvis) ซึ่งมีลักษณะเป็นโพรงและต่อกับท่อไต โดยมี**รีนัลอาร์เทอรี** (renal artery) นำเลือดจากเอออร์ตาเข้าสู่ไต และมี**รีนัลเวน** (renal vein) นำเลือดออกจากไตไปยังอินฟีเรียเวนาคาวา ดังรูป 17.8 ซึ่งจะได้ศึกษาโครงสร้างต่าง ๆ ของไตจากกิจกรรม 17.1



รูป 17.8 โครงสร้างของไตผ่าตามยาว

กิจกรรม 17.1 โครงสร้างของไต

จุดประสงค์

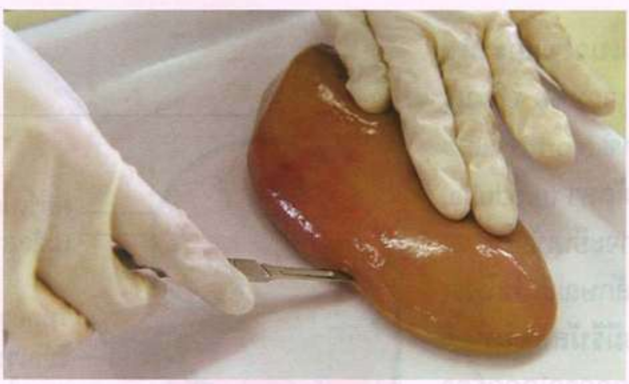
1. ศึกษาโครงสร้างภายนอกและภายในของไตสัตว์มีกระดูกสันหลัง
2. ระบุ และอธิบายลักษณะโครงสร้างภายนอกและภายในของไต

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไตหมูหรือไตวัว
2. เครื่องมือผ่าตัด
3. ถาดผ่าตัด
4. แว่นขยาย
5. ถุงมือยาง

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำไตมาล้างให้สะอาดและสังเกตโครงสร้างภายนอก
2. ใช้มีดผ่าครึ่งไตตามยาวดังรูป แล้วใช้แว่นขยายส่องดูลักษณะและโครงสร้างภายในของไต



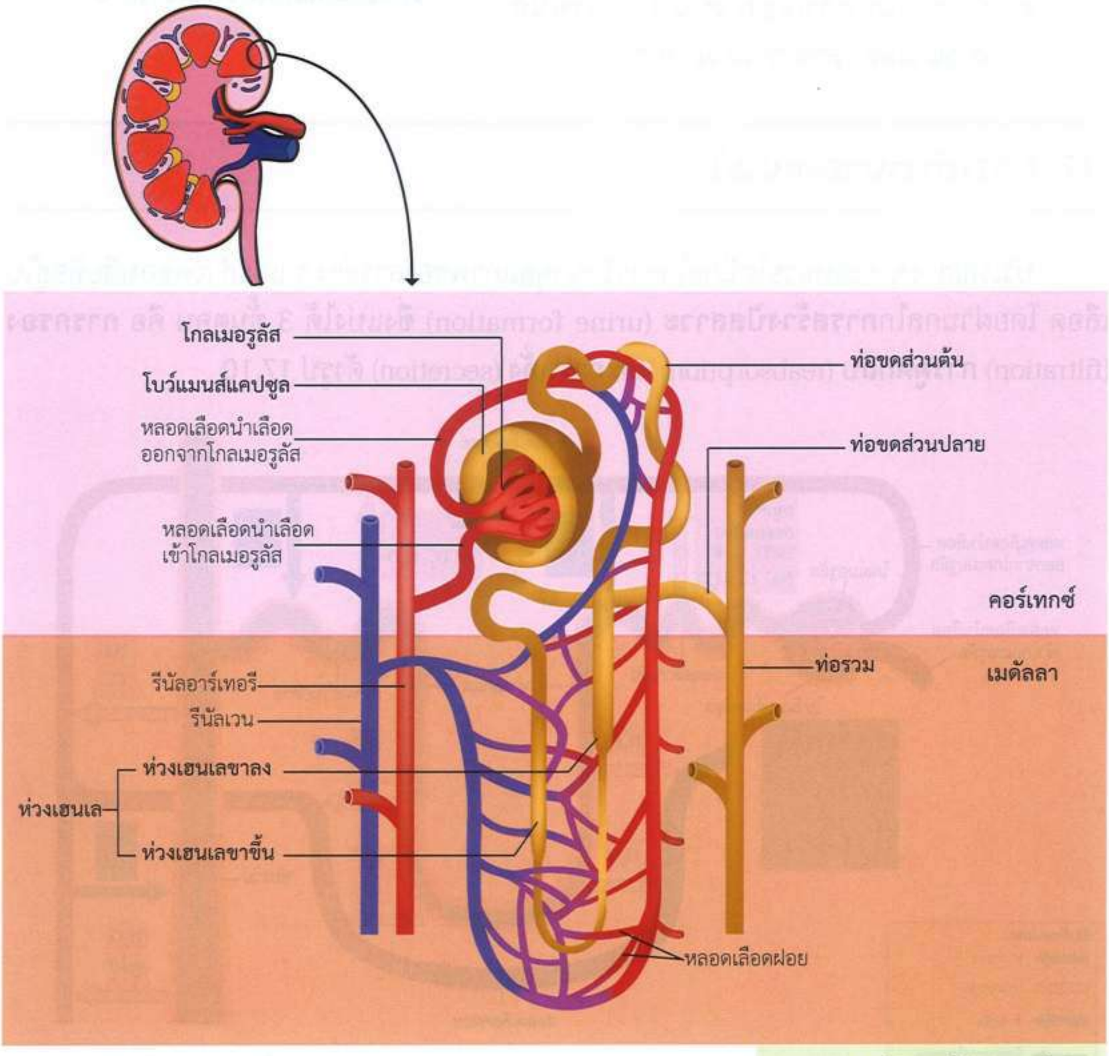
3. วาดรูปโครงสร้างของไต พร้อมทั้งชี้ส่วนประกอบที่สำคัญ โดยเปรียบเทียบไตจริงกับรูป 17.8

คำถามท้ายกิจกรรม

? โครงสร้างภายนอกและภายในของไตที่สังเกตได้ มีลักษณะอย่างไร

? เนื้อไตบริเวณคอร์เทกซ์และเมดัลลาแตกต่างกันอย่างไร

ภายในเนื้อไตแต่ละข้างประกอบด้วยหน่วยการทำงานที่เรียกว่า **หน่วยไต** (nephron) ประมาณ 1 ล้านหน่วย แต่ละหน่วยไตประกอบด้วย **โกลเมอรูลัส** (glomerulus) **โบว์แมนส์แคปซูล** (Bowman' s capsule) และ**ท่อหน่วยไต** (nephron tubule) โกลเมอรูลัสเป็นกลุ่มหลอดเลือดฝอยที่หุ้มด้วยโบว์แมนส์แคปซูลซึ่งมีลักษณะคล้ายถ้วย ถัดจากโบว์แมนส์แคปซูลจะเป็นท่อหน่วยไตที่มีลักษณะเป็นท่อยาวและขดไปมา แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ **ท่อขดส่วนต้น** (proximal convoluted tubule) **ห่วงเฮนเล** (loop of Henle) และ**ท่อขดส่วนปลาย** (distal convoluted tubule) ที่ท่อหน่วยไตมีหลอดเลือดฝอยมาพันแนบชิดโดยรอบ ปลายของท่อขดส่วนปลายจากแต่ละหน่วยไตจะเปิดเข้าสู่**ท่อรวม** (collecting duct) ซึ่งเปิดออกสู่กรวยไต ดังรูป 17.9



รูป 17.9 โครงสร้างหน่วยไต

หน้าที่ของไต

ไตของมนุษย์มีหน้าที่สำคัญดังนี้

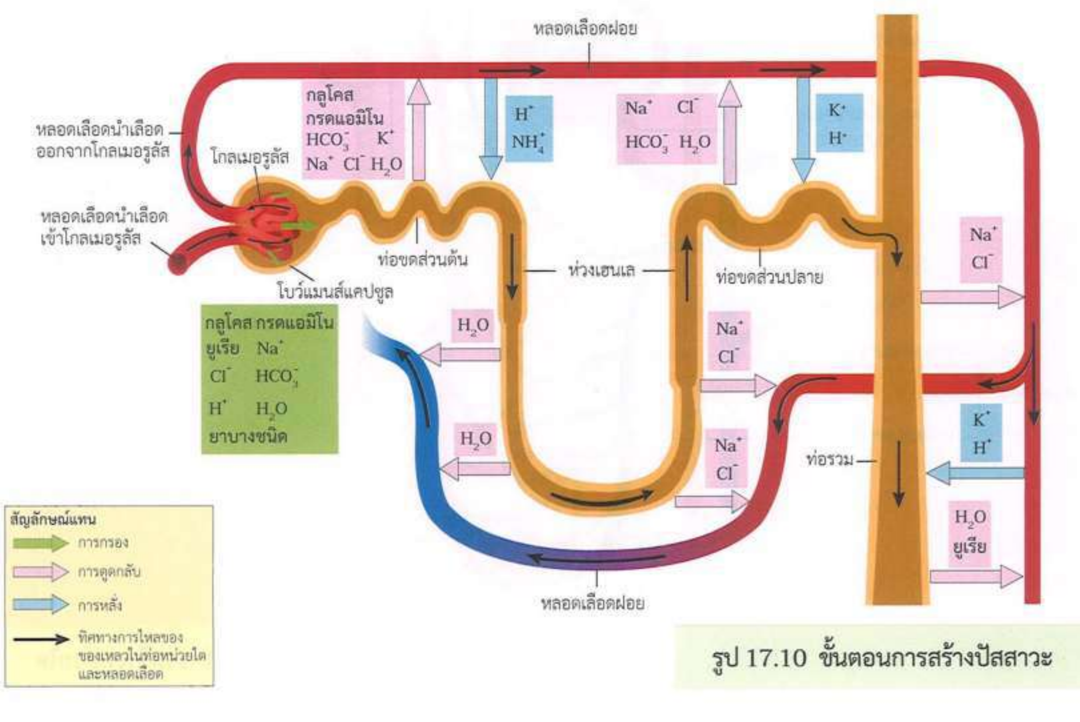
- ขับถ่ายของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมออกจากเลือด โดยเฉพาะของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ
- รักษาดุลยภาพของสารต่าง ๆ ในของเหลวภายในร่างกาย เช่น ไอออน กรด-เบส และปริมาณของเหลว
- ขับสารแปลกปลอม เช่น ยาบางชนิด สารฆ่าแมลง สารปรุงแต่งอาหาร

ความรู้เพิ่มเติม

ไตหลั่งฮอร์โมนอีรีโทรโพอิติน (erythropoietin) ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงและหลั่งเอนไซม์ เช่น เรนิน (renin) ที่ควบคุมความดันเลือดและสมดุลของปริมาณโซเดียมในร่างกาย

17.3 การทำงานของหน่วยไต

บริเวณต่าง ๆ ของหน่วยไตมีกลไกการรักษาดุลยภาพของสารต่าง ๆ และกำจัดของเสียที่อยู่ในเลือด โดยผ่านกลไก**การสร้างปัสสาวะ** (urine formation) ซึ่งแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ **การกรอง** (filtration) **การดูดกลับ** (reabsorption) และ**การหลั่ง** (secretion) ดังรูป 17.10



รูป 17.10 ขั้นตอนการสร้างปัสสาวะ

จากรูป 17.10 แต่ละขั้นตอนของการสร้างปัสสาวะมีดังนี้

1. **การกรอง** เป็นการกรองเลือดหรือพลาสมาที่มีของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึม สารอาหาร และไอออนต่าง ๆ โดยลำเลียงเข้าสู่ไตทางรีนัลอาร์เทอรี แล้วผ่านเข้าสู่โกลเมอรูลัส ซึ่งหลอดเลือดนำเลือดเข้าโกลเมอรูลัสนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าหลอดเลือดนำเลือดออกจากโกลเมอรูลัส เลือดจึงไหลเข้าสู่โกลเมอรูลัสได้มากแต่ไหลออกได้น้อยทำให้แรงดันของของเหลวในโกลเมอรูลัสมีค่าสูงกว่าแรงดันของของเหลวในหลอดเลือดฝอยบริเวณอื่น ส่งผลให้น้ำและสารที่มีขนาดเล็ก เช่น กลูโคส กรดแอมิโน ยูเรีย และไอออนส่วนหนึ่งถูกกรองให้ผ่านผนังโกลเมอรูลัสและผนังโบว์แมนส์แคปซูลเข้าสู่ช่องในโบว์แมนส์แคปซูล ส่วนเซลล์เม็ดเลือด เพลตเลต และสารที่มีขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน ยังคงอยู่ในหลอดเลือดฝอยและลำเลียงออกจากโกลเมอรูลัสโดยหลอดเลือดนำเลือดออกจากโกลเมอรูลัสและเข้าสู่หลอดเลือดฝอยและรีนัลเวนตามลำดับ ส่วน**ของเหลวที่ผ่านการกรอง** (filtrate) จะไหลผ่านไปยังท่อขดส่วนต้นต่อไป
2. **การดูดกลับ** เป็นการดูดกลับสารที่ยังมีประโยชน์ เช่น กลูโคส กรดแอมิโน โดยดูดกลับผ่านผนังท่อขดส่วนต้นเข้าสู่หลอดเลือดฝอยที่ล้อมรอบอยู่ ส่วนน้ำและไอออนต่าง ๆ เช่น โซเดียมไอออน คลอไรด์ไอออน ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน โพแทสเซียมไอออน มีการดูดกลับตลอดความยาวของท่อหน่วยไต นอกจากนี้ที่บริเวณท่อรวมยังมีการดูดกลับโซเดียมไอออน คลอไรด์ไอออน น้ำ และยูเรียบางส่วนกลับสู่หลอดเลือดฝอยอีกด้วย
3. **การหลั่ง** เป็นการลำเลียงสารจากหลอดเลือดฝอยที่อยู่แนบชิดกับท่อหน่วยไตเข้าสู่ของเหลวระหว่างเซลล์แล้วจึงหลั่งเข้าสู่ท่อหน่วยไต ส่วนใหญ่จะหลั่งไฮโดรเจนไอออน โพแทสเซียมไอออน แอมโมเนียมไอออน และอาจหลั่งสารอื่น ๆ เช่น ยาบางชนิด พบการหลั่งที่บริเวณท่อขดส่วนต้น และท่อขดส่วนปลาย นอกจากนี้ยังพบการหลั่งที่ท่อรวมเช่นกัน

ในคนปกติของเหลวในพลาสมาที่มีสารต่าง ๆ จะถูกกรองที่ไต โดยเฉลี่ยประมาณวันละ 180 ลิตร ซึ่งจากกลไกการสร้างปัสสาวะ มีผู้ศึกษาเปรียบเทียบสารต่างๆ ที่พบในพลาสมา ของเหลวที่ผ่านการกรองและปัสสาวะของคนปกติได้ผลดังตาราง 17.1

ตาราง 17.1 ปริมาตรของของเหลวและความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่พบในพลาสมา ของเหลวที่ผ่านการกรองและปัสสาวะ

สาร	พลาสมา	ของเหลวที่ผ่านการกรอง	ปัสสาวะ
ของเหลว (L)	180	180	1.5
สารประกอบคาร์บอน (mg/100mL)			
โปรตีน	3,900-5,000	6-11	0*
กลูโคส	100	100	0
ยูเรีย	26	26	1,820
กรดยูริก	3	3	42
ครีเอทินีน**	1.1	1.1	196
ไอออน (mmol/L)			
โซเดียมไอออน	142	142	128
คลอไรด์ไอออน	103	103	134
ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน	28	28	14
โพแทสเซียมไอออน	5	5	60

ที่มา: ปรับจาก VanPutte, C., Regan, J., Russo, A., Seeley, R., Stephen, RT., Tate, P. (2017). **Seeley's Anatomy & Physiology** (11^{th} ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

* อาจพบโปรตีนน้อยมาก ซึ่งในตารางจะให้ค่าเป็น 0

** ครีเอทินีน (creatinine) คือ สารที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่าง ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของไต

จากตารางสารส่วนใหญ่มีความเข้มข้นในปัสสาวะสูงกว่าในของเหลวที่ผ่านการกรองยกเว้นโปรตีนกับกลูโคส แต่เมื่อเทียบปริมาณของเหลวที่ผ่านการกรอง (180 ลิตร) กับปริมาณปัสสาวะในแต่ละวัน (1.5 ลิตร) พบว่าปริมาณของสารส่วนใหญ่ที่พบในปัสสาวะจะน้อยกว่าในของเหลวที่ผ่านการกรองเนื่องจากมีการดูดกลับ

? สารใดที่พบในปัสสาวะมีความเข้มข้นสูงกว่าที่พบในของเหลวที่ผ่านการกรอง

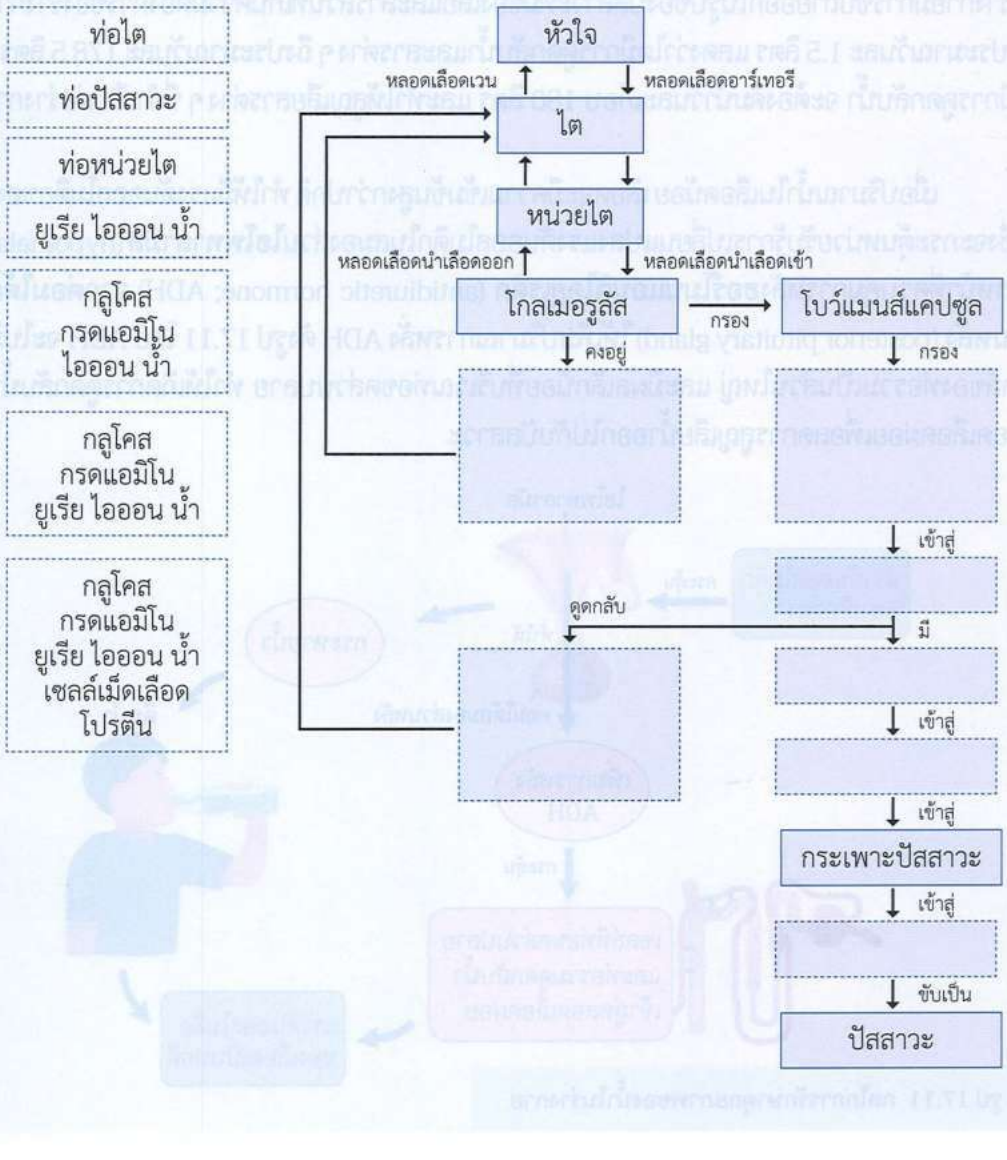
? ถ้าผนังของโกลเมอรูลัสและโบว์แมนส์แคปซูลถูกทำลายหรือฉีกขาดจะพบสารใดในปัสสาวะซึ่งปกติไม่ควรพบ

? ยูเรียและกรดยูริกมีการดูดกลับวันละกี่กรัม ถ้าร่างกายมีของเหลวที่ผ่านการกรอง วันละ 180 ลิตร และขับถ่ายปัสสาวะวันละ 1.5 ลิตร

? เพราะเหตุใดครีเอทินีนที่พบในปัสสาวะมีปริมาณมากกว่าที่พบในของเหลวที่ผ่านการกรอง

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ปริมาณของเสียในเลือดที่อยู่ในรีนัลอาร์เทอรีต่างจากเลือดที่อยู่ในรีนัลเวนอย่างไร เพราะเหตุใด
- ? ถ้าไม่มีการดูดกลับน้ำและสารต่าง ๆ ที่บริเวณท่อหน่วยไตจะมีผลต่อร่างกายอย่างไร
- ? จงนำข้อความที่กำหนดให้เติมลงในช่องว่างของแผนผังสรุปการทำงานในการกำจัดของเสียในร่างกายโดยระบบขับถ่าย



ไตนอกจากทำหน้าที่กำจัดของเสียแล้วยังรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ในร่างกาย **ไตทำหน้าที่รักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ได้อย่างไร**

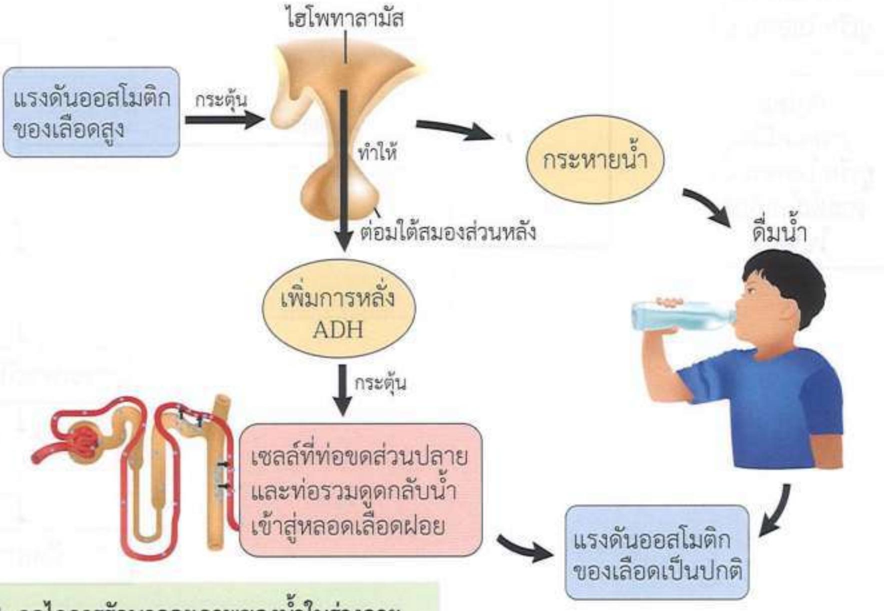
17.4 ไตกับการรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ในร่างกาย

ipst.me/9209

17.4.1 การรักษาดุลยภาพของน้ำ

ในคนปกติของเหลวในพลาสมาที่มีสารต่าง ๆ จะถูกกรองที่ไต โดยเฉลี่ยประมาณวันละ 180 ลิตร แต่ร่างกายมีการขับถ่ายออกในรูปของปัสสาวะที่มีของเสียและสารส่วนที่เกินความต้องการของร่างกายรวมกันประมาณวันละ 1.5 ลิตร แสดงว่าไตมีการดูดกลับน้ำและสารต่าง ๆ ถึงประมาณวันละ 178.5 ลิตร ซึ่งถ้าไม่มีการดูดกลับน้ำ จะต้องดื่มน้ำวันละเกือบ 180 ลิตร และทำให้สูญเสียสารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย

เมื่อปริมาณน้ำในเลือดน้อย เลือดจะมีความเข้มข้นสูงกว่าปกติ ทำให้มีแรงดันออสโมติกของเลือดสูงซึ่งจะกระตุ้นหน่วยรับรู้การเปลี่ยนแปลงแรงดันออสโมติกในสมองส่วน**ไฮโพทาลามัส** (hypothalamus) ที่ทำหน้าที่ควบคุมการหลั่ง**ฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก** (antidiuretic hormone; ADH) จาก**ต่อมใต้สมองส่วนหลัง** (posterior pituitary gland) ให้เพิ่มปริมาณการหลั่ง ADH ดังรูป 17.11 โดย ADH จะไปมีผลที่เซลล์ของท่อรวมเป็นส่วนใหญ่ และมีผลเล็กน้อยที่บริเวณท่อขดส่วนปลาย ทำให้เกิดการดูดกลับน้ำเข้าสู่หลอดเลือดฝอยเพื่อลดการสูญเสียน้ำออกไปกับปัสสาวะ



รูป 17.11 กลไกการรักษาดุลยภาพของน้ำในร่างกาย

รู้หรือไม่

ไดยูเรติก (diuretic) คือ สารขับปัสสาวะ สารนี้มีสมบัติทำให้เซลล์ท่อหน่วยไตสูญเสียน้ำออกไปมากกว่าการดูดกลับน้ำเข้ามา ตัวอย่างของไดยูเรติก เช่น แอลกอฮอล์ และคาเฟอีน ซึ่งพบได้ใน ชา กาแฟ ช็อกโกแลต และน้ำอัดลมบางประเภท

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ถ้าปริมาณน้ำในเลือดมาก ร่างกายจะมีกลไกรักษาดุลยภาพของน้ำอย่างไร

? การออกกำลังกายในสภาพอากาศที่ร้อน ไตจะมีการรักษาดุลยภาพของน้ำอย่างไรบ้าง

กิจกรรม 17.2 การรักษาดุลยภาพของของเหลวในร่างกาย

จุดประสงค์

อธิบายกลไกการรักษาดุลยภาพของของเหลวในร่างกายและแปลผลการทดลอง

วิธีการทำกิจกรรม

1. พิจารณาผลการทดลองที่แสดงในตาราง
   ชายคนหนึ่งดื่มน้ำ 600 มิลลิลิตร ภายในเวลา 5 นาที แล้วเก็บปัสสาวะทุก ๆ 30 นาที จำนวน 7 ครั้ง ได้ผลดังนี้

เวลาหลังจากดื่มน้ำ (นาที)	30	60	90	120	150	180	210
ปริมาณปัสสาวะ (mL)	35	180	150	40	30	30	20

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปัสสาวะกับเวลาหลังจากดื่มน้ำ

คำถามท้ายกิจกรรม

? จากกราฟที่ได้นักเรียนจะอธิบายเชื่อมโยงเกี่ยวกับการรักษาดุลยภาพของของเหลวในร่างกายอย่างไร โดยให้กล่าวถึงบทบาทของหน่วยไต ADH และไฮโพทาลามัส

เมื่อปริมาณน้ำในเลือดมีมากกว่าปกติ เช่น การดื่มน้ำปริมาณมากติดต่อกันในระยะเวลาสั้น ๆ ร่างกายจะขับน้ำส่วนเกินออกไปโดยการทำงานของไตทำให้ปริมาณน้ำในร่างกายมีความสมดุล โดยมีระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อควบคุมการทำงานของไต

รู้หรือไม่

ภาวะน้ำเป็นพิษ (water intoxication) เกิดจากการดื่มน้ำปริมาณมากเกินไปในระยะเวลาที่สั้น (มากกว่า 6-7 ลิตรต่อวัน) ทำให้น้ำในร่างกายมีปริมาณมากกว่าปกติ โซเดียมในเลือดจึงมีความเข้มข้นลดลง เรียกว่า ภาวะโซเดียมในเลือดต่ำ (hyponatremia) น้ำในเลือดแพร่เข้าสู่เซลล์ ทำให้เซลล์บวมน้ำ ผู้ป่วยจะมีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน อาจกระตุกหรือชักจากสมองบวม ปอดบวมและอาจเสียชีวิตได้

ความรู้เพิ่มเติม

ร่างกายมนุษย์ได้รับน้ำเข้าสู่ร่างกายและสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย เฉลี่ยปริมาณวันละ 2,500 มิลลิลิตร ดังรูป



ปริมาณน้ำโดยเฉลี่ยที่ได้รับและสูญเสียออกจากร่างกายผู้ใหญ่ใน 1 วัน
(* การระเหยผ่านผิวหนังและการหายใจ)

นอกจากนี้ต่อมหมวกไตยังหลั่งฮอร์โมน**แอลโดสเทอโรน** (aldosterone) เพื่อช่วยรักษาดุลยภาพของธาตุอาหาร เช่น โซเดียม โดยจะกระตุ้นท่อขดส่วนปลายและท่อรวมให้มีการดูดกลับโซเดียมไอออนและน้ำเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดให้อยู่ในภาวะสมดุล ส่งผลต่อความดันและปริมาตรของเลือดให้อยู่ในภาวะปกติด้วย

ในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติเกี่ยวกับการทำงานของไตจะต้องระมัดระวังในการรับประทานอาหารที่มีรสเค็มมากกว่าปกติ เนื่องจากมีปริมาณโซเดียมสูง ซึ่งหากรับประทานเข้าไปปริมาณมาก จะทำให้น้ำสะสมในเนื้อเยื่อตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น บริเวณข้อต่อ มือ ขา เท้า มีอาการบวมหรือที่เรียกว่า บวมน้ำ

ชวนคิด

เพราะเหตุใดจึงไม่ควรดื่มน้ำทะเล

การทำกิจกรรมที่ทำให้สูญเสียน้ำและโซเดียมในรูปของเหงื่อในปริมาณมาก ยังส่งผลต่อการทำงานของไตในการรักษาดุลยภาพของน้ำด้วยเช่นกัน **นอกจากนี้ไตยังรักษาดุลยภาพของร่างกายด้านใดอีกบ้าง**

ipst.me/9210

17.4.2 การรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในเลือด

โดยปกติความเป็นกรด-เบสในเลือดขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) เมื่อมีกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยเฉพาะการหายใจระดับเซลล์ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเมื่อละลายในพลาสมาจะทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในเลือดสูงขึ้น ทำให้เลือดมีแนวโน้มเป็นกรดแต่ร่างกายมีไตช่วยรักษาดุลยภาพของกรด-เบส โดยเพิ่มการหลั่งไฮโดรเจนไอออน รวมถึงหลั่งสารบางอย่างที่มีไฮโดรเจนไอออนประกอบอยู่ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากเลือดเข้าสู่ท่อหน่วยไตที่บริเวณท่อขดส่วนต้นและท่อขดส่วนปลายก่อนขับออกไปกับปัสสาวะ ขณะเดียวกันเซลล์ที่ท่อขดส่วนต้นและท่อขดส่วนปลายจะเพิ่มการดูดกลับสารที่มีสมบัติเป็นเบส เช่น ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนเข้าสู่หลอดเลือด (รูป 17.10) ทำให้ความเป็นกรด-เบสของเลือดเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยเลือดมนุษย์มีความเป็นกรด-เบส หรือ pH อยู่ระหว่าง 7.35-7.45 ซึ่งเป็นระดับที่เอนไซม์ส่วนใหญ่ในกระบวนการเมแทบอลิซึมทำงานได้เป็นปกติ

นอกจากนี้ร่างกายยังมีระบบหายใจที่ทำหน้าที่รักษาดุลยภาพของกรด-เบสด้วยการลดหรือเพิ่มอัตราการหายใจ ดังที่ได้ศึกษาจากเรื่องระบบหายใจ

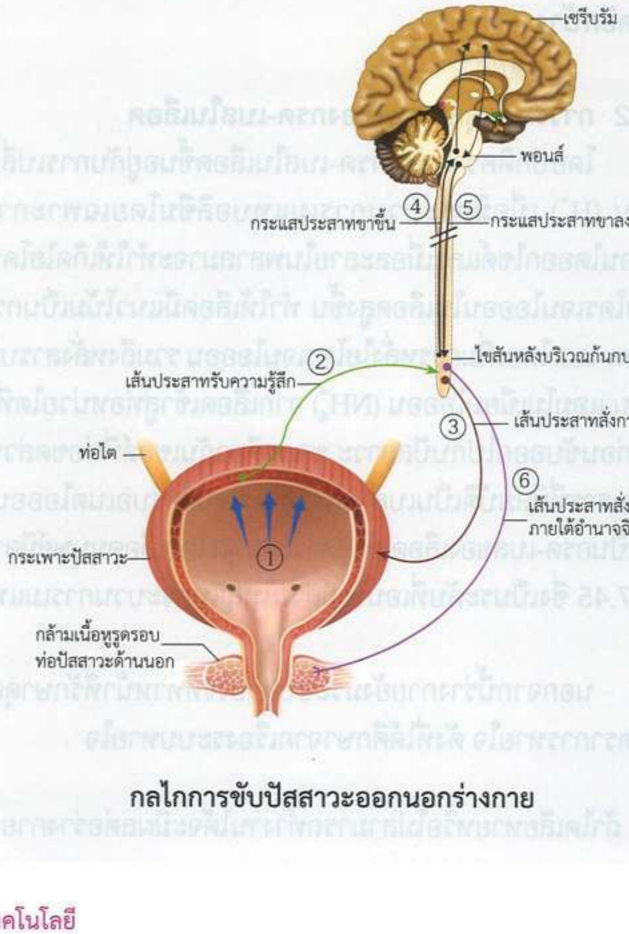
? ถ้าไตเสียหายหรือไม่สามารถทำงานได้จะมีผลต่อร่างกายอย่างไร

ความรู้เพิ่มเติม

การขับถ่ายปัสสาวะ (micturition หรือ micturition reflex) เป็นการกำจัดปัสสาวะที่ถูกเก็บสะสมอยู่ในกระเพาะปัสสาวะ โดยกระเพาะปัสสาวะประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่มีความยืดหยุ่นมาก สามารถเก็บปัสสาวะได้ประมาณ 500 มิลลิลิตร แต่สามารถขยายและเก็บปัสสาวะได้มากถึง 700-800 มิลลิลิตร

การขับถ่ายปัสสาวะถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติซึ่งอยู่นอกอำนาจจิตใจ ในทารกและเด็กเล็กจึงไม่สามารถควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะได้ แต่เมื่ออายุเพิ่มขึ้นจะมีการพัฒนาของสมองส่วนหน้าและก้านสมองมากขึ้นจึงสามารถควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะโดยระบบประสาทที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ กลไกการขับถ่ายปัสสาวะ มีขั้นตอนดังนี้

1. ปัสสาวะสะสมในกระเพาะปัสสาวะมากขึ้น ทำให้ผนังกระเพาะปัสสาวะขยายตัว
2. ตัวรับความรู้สึกที่ผนังกระเพาะปัสสาวะถูกกระตุ้นทำให้เกิดกระแสประสาทส่งไปที่ไขสันหลังบริเวณก้นกบ
3. กระแสประสาทจากไขสันหลังส่งกลับมาที่กระเพาะปัสสาวะทำให้ผนังกระเพาะปัสสาวะหดตัว
4. ขณะเดียวกันกระแสประสาทจากไขสันหลังยังถูกส่งขึ้นไปยังสมองส่วนพอนส์และเซรีบรัมทำให้รู้สึกอยากขับปัสสาวะ
5. ระบบประสาทที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจสามารถส่งสัญญาณมายับยั้งการขับถ่ายปัสสาวะที่กระตุ้นให้ผนังกระเพาะปัสสาวะหดตัว
6. ระบบประสาทที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจสามารถกระตุ้นการหดหรือคลายตัวของกล้ามเนื้อหูรูดรอบท่อปัสสาวะด้านนอกทำให้ควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะได้



กลไกการขับปัสสาวะออกนอกร่างกาย

17.5 ความผิดปกติของระบบขับถ่าย

เนื่องจากไตเป็นอวัยวะที่มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาดุลยภาพร่างกาย หากไตไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ จะส่งผลเสียต่อร่างกายซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้ นอกจากนี้โรคเกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะยังส่งผลต่อการทำงานของไตได้เช่นกัน

กิจกรรม 17.3 โรคไตและโรคที่เกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายสาเหตุ อาการ แนวทางการป้องกันหรือรักษาโรคไตและโรคที่เกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ
2. นำความรู้ที่ศึกษามาปฏิบัติและแนะนำผู้อื่นในการหลีกเลี่ยงการเป็นโรคไตและโรคที่เกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ

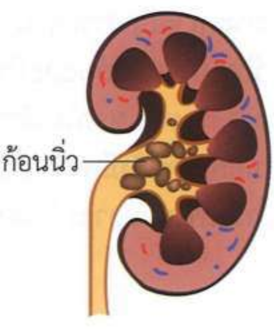
วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล อธิบาย และนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ เกี่ยวกับสาเหตุ อาการของโรค วิธีรักษาและการปฏิบัติตนเพื่อป้องกันโรคไตและโรคที่เกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ

ตัวอย่างโรคไตและโรคที่เกี่ยวกับไต เช่น โรคนิ่ว ไตวาย ตัวอย่างโรคที่เกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ เช่น โรคที่เกิดจากการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ

โรคนิ่ว

นิ่วในไต (kidney stone) ส่วนใหญ่เกิดจากตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตหรือแคลเซียมออกซาเลตและธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งไม่ละลายน้ำแล้วจับกันเป็นก้อนไปอุดตันตามส่วนต่าง ๆ ของไต ดังรูป 17.12 และทางเดินปัสสาวะ หากเป็นก้อนที่มีขนาดเล็กก็จะขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ แต่ถ้ามีขนาดใหญ่จนไม่สามารถขับออกไปกับปัสสาวะได้จะทำให้เกิดการอุดตันและเกิดแรงดันในท่อไตสูงทำให้เนื้อเยื่อไตเกิดความเสียหายได้ และถ้านิ่วหลุดไปอุดตันที่ท่อปัสสาวะจะทำให้เกิดความเจ็บปวดขณะถ่ายปัสสาวะ



รูป 17.12 นิ่วในไต

สาเหตุของการเกิดนิ่วมีหลายประการ เช่น ร่างกายกรองสารหรือกำจัดธาตุอาหารออกมามาก การดื่มน้ำน้อย มีการอักเสบที่เกิดจากการติดเชื้อที่ทางเดินปัสสาวะ ในเพศชายอาจเกิดจากต่อมลูกหมากโตทำให้ปัสสาวะไม่ออกหรือออกน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าโรคนิ่วมีความสัมพันธ์กับโภชนาการ เช่น การบริโภคผักใบเขียวประเภทผักโขม ชะพลู หน่อไม้ ซึ่งมีสารออกซาเลตสูง ถ้าบริโภคในปริมาณมากและต่อเนื่องเป็นเวลานานจะทำให้มีโอกาสเป็นนิ่วได้ง่ายขึ้น การรักษาขึ้นอยู่กับการวินิจฉัยของแพทย์ว่าจะใช้ยา ผ่าตัด หรือสลายนิ่วโดยใช้**คลื่นเสียงความถี่สูง** (ultrasound) โรคนี้สามารถป้องกันได้โดยหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีสารออกซาเลตสูง นอกจากนี้การรับประทานอาหารประเภทโปรตีนในปริมาณที่พอเหมาะ เช่น เนื้อสัตว์ นม ไข่ และถั่วต่าง ๆ ซึ่งมีธาตุฟอสฟอรัสที่ช่วยไม่ให้สารออกซาเลตจับตัวเป็นผลึกกลายเป็นก้อนนิ่ว และควรดื่มน้ำสะอาดให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย เพราะก้อนนิ่วขนาดเล็กที่มีอยู่จะถูกขับออกมาพร้อมกับปัสสาวะ

ภาวะไตวายเฉียบพลัน คือ ไตสูญเสียการทำงานอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงหรือไม่กี่วัน อาจมีสาเหตุจากการเสียเลือดมากจากอุบัติเหตุ การอุดตันของทางเดินปัสสาวะ ภาวะไตอักเสบ การได้รับยาหรือสารพิษ เป็นต้น ซึ่งหากได้รับการรักษาทันท่วงที ไตจะสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติ

โรคไตเรื้อรัง คือ ไตมีความผิดปกติของโครงสร้างหรือการทำงานทำให้สูญเสียการทำงานไปอย่างช้า ๆ จนเข้าสู่ภาวะไตวายเรื้อรังระยะสุดท้ายซึ่งไม่สามารถรักษาให้ไตกลับมาทำงานได้ตามปกติ ต้องเข้ารับการฟอกเลือดหรือปลูกถ่ายไต ผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยงต่อโรคนี้ คือ ผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง เบาหวาน บุคคลที่มีประวัติบุคคลในครอบครัวป่วยเป็นโรคไตเรื้อรังมาก่อน โรคติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ หรืออาจเกิดจากโรคไตอื่น ๆ เช่น กรวยไตอักเสบเรื้อรัง โรคถุงน้ำในไต

นอกจากนี้ยังมีโรคอื่น ๆ ที่อาจส่งผลทำให้ระบบขับถ่ายเกิดความผิดปกติได้ เช่น โรคที่เกิดจากการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ ส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย เช่น ในเพศหญิงมักจะพบโรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้มากกว่าเพศชาย เพราะมีท่อปัสสาวะสั้นและมีรูเปิดใกล้กับทวารหนัก แบคทีเรียจึงเข้าสู่ท่อปัสสาวะและผ่านไปที่กระเพาะปัสสาวะได้ หากไม่ได้รับการรักษาแบคทีเรียจะผ่านไปยังท่อไตทำให้กรวยไตอักเสบหรือไตอักเสบ นอกจากนี้ยังมีพฤติกรรมเสี่ยงอื่น ๆ เช่น การกลั้นปัสสาวะเป็นประจำหรือการดื่มน้ำน้อยก่อให้เกิดโรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบได้

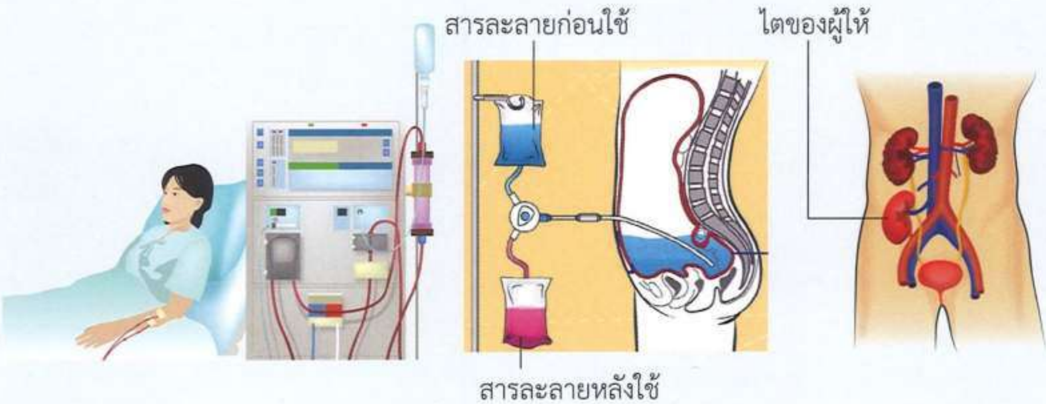
พฤติกรรมการรับประทานอาหารก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไต เช่น การรับประทานอาหารที่มีรสเค็มจัดเป็นประจำ ทำให้ไตต้องทำงานหนักในการขับโซเดียมส่วนเกินออก หรือการรับประทานยาที่มีผลต่อการทำงานของไตโดยตรง เช่น ยาขับปัสสาวะ ที่ใช้รักษาผู้ป่วยที่มีอาการคั่งของน้ำในร่างกาย

ความรู้เพิ่มเติม

ipst.me/9208

การรักษาหรือบรรเทาอาการผู้ป่วยที่เป็นโรคไตเรื้อรัง ทำได้ 2 วิธี คือ

1. การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม ผู้ป่วยจะต้องเข้ารับการฟอกเลือดที่โรงพยาบาลที่มีเครื่องไตเทียม สัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง แต่หากไม่สะดวกที่จะเดินทางยังมีอีกวิธีหนึ่งคือ การฟอกเลือดโดยผ่านผนังช่องท้อง (peritoneal dialysis) ซึ่งจะต้องระมัดระวังเรื่องการติดเชื้อ
2. การปลูกถ่ายไต เป็นการนำไตจากคนที่มีสุขภาพดีมาปลูกถ่าย แต่ต้องระวังเรื่องการต่อต้านอวัยวะที่ปลูกถ่ายเนื่องจากการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายของผู้ที่ได้รับการปลูกถ่าย การปลูกถ่ายไตจึงควรใช้ไตจากบุคคลที่มีความใกล้ชิดทางสายเลือด



การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม การฟอกเลือดผ่านผนังช่องท้อง การปลูกถ่ายไต

ไตมนุษย์เป็นอวัยวะที่มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาดุลยภาพของร่างกาย โดยทำหน้าที่กำจัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมและรักษาดุลยภาพของสารต่าง ๆ ในร่างกาย ทำให้ระบบต่าง ๆ ในร่างกายทำงานได้เป็นปกติ

รู้หรือไม่

ยาขับปัสสาวะ เป็นยาที่ใช้ในการรักษาและป้องกันผู้ป่วยที่มีอาการคั่งของน้ำ ลดอาการบวมน้ำที่เกิดจากโรคความดันโลหิตสูง ภาวะหัวใจวาย ภาวะน้ำท่วมปอดเฉียบพลัน เป็นต้น โดยจะต้องอยู่ในความดูแลของแพทย์เท่านั้น ไม่ควรซื้อมารับประทานเอง แต่ปัจจุบันพบว่าได้ถูกนำมาใช้ในทางที่ไม่ถูกต้อง เช่น ใช้เพื่อลดน้ำหนัก ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมาก เพราะยาขับปัสสาวะจะทำให้ปัสสาวะบ่อยกว่าปกติ ร่างกายสูญเสียน้ำและธาตุอาหารที่จำเป็นปริมาณมาก ผู้ที่ใช้ยานี้จึงมีน้ำหนักตัวลดลง และถ้าใช้ต่อไปอาจทำให้เกิดอาการช็อก และเสียชีวิตได้

ระบบขับถ่ายเป็นระบบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เพราะมีหน้าที่หลักในการกำจัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยเฉพาะของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ รักษาดุลยภาพของน้ำและความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในร่างกายให้คงที่อยู่เสมอ ทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายนอก

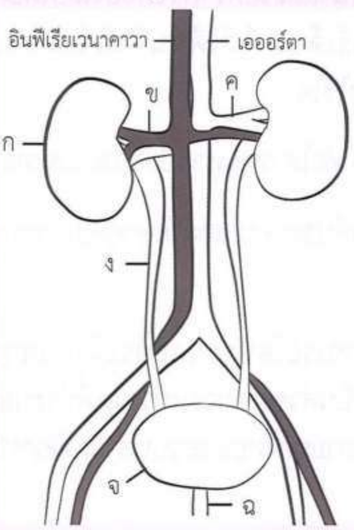
สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สัตว์ขับถ่ายของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปของแอมโมเนีย ยูเรีย และกรดยูริก
2. สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีโครงสร้างและอวัยวะในการขับถ่ายแตกต่างกัน เช่น อะมีบาและพารามีเซียมใช้คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล ฟองน้ำและไฮดรากำจัดของเสียโดยการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ พลานาเรียใช้โพรโทเนฟริเดียม ไส้เดือนดินใช้เมทาเนฟริเดียม แมลงใช้มัลพิเกียนทิวบูล สัตว์มีกระดูกสันหลังใช้ไต
3. ระบบขับถ่ายในร่างกายมนุษย์ประกอบด้วย ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ และท่อปัสสาวะ
4. ไตทำหน้าที่ขับถ่ายของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ และรักษาดุลยภาพของน้ำและสารต่าง ๆ ในร่างกายมนุษย์
5. ไตประกอบด้วยหน่วยไตจำนวนมาก แต่ละหน่วยไตประกอบด้วยโกลเมอรูลัสที่หุ้มด้วยโบว์แมนส์แคปซูล ถัดจากโบว์แมนส์แคปซูลเป็นส่วนของท่อหน่วยไตที่ประกอบด้วยท่อขดส่วนต้น ห่วงเฮนเล และท่อขดส่วนปลาย ซึ่งปลายของท่อขดส่วนปลายแต่ละหน่วยไตจะเปิดเข้าสู่ท่อรวม
6. กระบวนการทำงานของหน่วยไตในการสร้างปัสสาวะประกอบด้วยการกรอง การดูดกลับ และการหลั่ง
7. การกรองเกิดที่โกลเมอรูลัสและผนังของโบว์แมนส์แคปซูล สารที่มีขนาดเล็กจะถูกกรองเข้าท่อหน่วยไต ที่ท่อหน่วยไตมีการดูดกลับสารที่ยังมีประโยชน์รวมทั้งน้ำและไอออนต่าง ๆ บางส่วนเพื่อรักษาสมดุลของน้ำและสารต่าง ๆ ไว้ ไตยังหลั่งสารบางชนิดจากเลือดเข้าสู่ท่อหน่วยไตด้วย
8. ร่างกายรักษาดุลยภาพของน้ำโดยอาศัยแรงดันออสโมติกในเลือด ซึ่งควบคุมโดยสมองส่วนไฮโพทาลามัสที่จะกระตุ้นหรือยับยั้งการหลั่ง ADH จากต่อมใต้สมองส่วนหลัง ทำให้ท่อขดส่วนปลายและท่อรวมดูดกลับน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลง
9. ร่างกายรักษาดุลยภาพความเป็นกรด-เบสของเลือดได้โดยการทำงานร่วมกันของไตและปอด
10. โรคไตและโรคที่เกี่ยวเนื่องกับไต เช่น โรคนิ่ว ภาวะไตวายเฉียบพลัน โรคไตเรื้อรัง และโรคที่เกิดจากการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ เช่น กระเพาะปัสสาวะอักเสบ

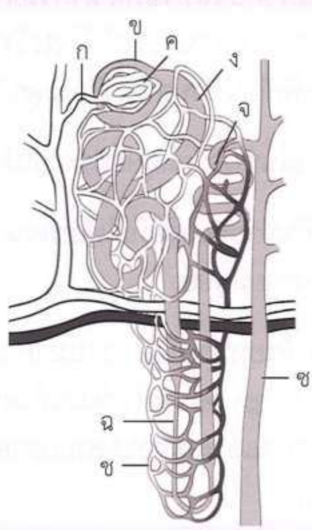
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 17

1. จงนำตัวอักษรจากรูปที่กำหนดให้มาเติมในช่องว่างของแต่ละข้อให้ถูกต้อง (ตอบได้มากกว่า 1 คำตอบและตอบซ้ำได้)

รูป ก.



รูป ข.



1.1 **รูป ก.**

.............1. นำเลือดที่ผ่านการกรองที่ไตออกไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
.............2. นำเลือดที่มีของเสียซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนเข้าไต
.............3. เก็บปัสสาวะก่อนขับออก
.............4. มีหน้าที่กำจัดของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ
.............5. ลำเลียงปัสสาวะออกจากไต

1.2 **รูป ข.**

.............1. บริเวณที่มีแรงดันในหลอดเลือดฝอยสูงกว่าหลอดเลือดฝอยบริเวณอื่น
.............2. ADH มีผลต่อการทำงานของเซลล์ในบริเวณนี้
.............3. อัลบูมินที่ตรวจพบในปัสสาวะมักเป็นผลมาจากการทำงานที่ผิดปกติของส่วนนี้
.............4. ส่วนที่หลั่งสารที่มีองค์ประกอบของ H^+ เพื่อช่วยรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในเลือด
.............5. ส่วนที่ดูดกลับกรดแอมิโนและกลูโคสเข้าสู่หลอดเลือดฝอย

2. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......2.1 เมทาเนฟริเดียมของไส้เดือนดินแตกต่างจากโพรโทเนฟริเดียมของพลานาเรีย คือมีการดูดกลับสารที่มีประโยชน์เข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด

....

.......2.2 มนุษย์มีไตทำหน้าที่กำจัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยเฉพาะของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

....

.......2.3 สารที่เกินความต้องการของร่างกายและของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไหลไปตามท่อไต จากนั้นเข้าสู่ท่อหน่วยไตและไปยังกระเพาะปัสสาวะ

....

.......2.4 สารบางชนิดในของเหลวที่ถูกกรองเข้าสู่ท่อหน่วยไต เช่น กรดแอมิโน กลูโคส ไอออนต่าง ๆ และน้ำจะถูกดูดกลับโดยผนังของท่อหน่วยไตเพื่อกลับเข้าสู่หลอดเลือดฝอย

....

.......2.5 ของเหลวที่อยู่ในกระเพาะปัสสาวะประกอบด้วย ยูเรีย โซเดียมไอออน กรดแอมิโน และเซลล์เม็ดเลือด

....

.......2.6 ความดันเลือดมีผลต่ออัตราการกรองที่โกลเมอรูลัส

....

.......2.7 การทำงานของระบบขับถ่ายและระบบหายใจเกี่ยวข้องกับการรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในเลือด

....

.......2.8 ความเข้มข้นของยูเรียในโบว์แมนส์แคปซูลสูงกว่าในท่อรวม

....

.......2.9 ถ้าเลือดเป็นกรด ไตจะรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในเลือดโดยหลั่งไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนออกจากหลอดเลือดและดูดกลับไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่หลอดเลือด

....

.......2.10 เมื่อดื่มน้ำปริมาณมากและต่อเนื่อง สมองส่วนไฮโพทาลามัสจะกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหลังให้ลดการหลั่ง ADH ทำให้เซลล์ที่ท่อขดส่วนปลายและท่อรวมลดการดูดกลับน้ำ

....

3. บุคคลที่มีไตทำงานปกติเพียงข้างเดียวจะดำรงชีวิตอย่างคนปกติได้หรือไม่ อย่างไร

4. ถ้าไตไม่ตอบสนองต่อ ADH จะเกิดผลอย่างไรกับการรักษาดุลยภาพของน้ำในร่างกาย

5. ตารางแสดงผลการตรวจสารในเลือดเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของไต

การทดสอบ	ค่าปกติ	นาย ก.	นาย ข.
BUN	7-20 mg/dL	A	B
WBC	5,000-10,000/μL	C	7,500/μL
pH	7.4	7.2	D

BUN ; Blood Urea Nitrogen คือ ค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด

WBC ; White Blood Cell คือ จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว

จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......5.1 นาย ก. มีภาวะไตวายเฉียบพลัน ค่า A ที่ได้จะมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าปกติ

....

.......5.2 นาย ข. มีค่า B เท่ากับ 15 mg/dL แสดงว่าไตของนาย ข. ทำงานได้เป็นปกติ

....

.......5.3 ถ้านาย ก. เป็นโรคไตจากการติดเชื้อแบคทีเรีย ค่า C จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าปกติ

....

.......5.4 ถ้านาย ข. มีภาวะหายใจมากกว่าปกติหรือภาวะหายใจเกิน (hyperventilation) ค่า D จะต่ำกว่าค่าปกติ

....

6. การรับประทานอาหารที่มีรสเค็มจัดเป็นประจำจะส่งผลต่อร่างกายอย่างไร

7. จงเปรียบเทียบโครงสร้างหรืออวัยวะในการขับถ่ายและกระบวนการขับถ่ายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและสัตว์มีกระดูกสันหลังลงในตารางที่กำหนดให้

<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th colspan="5">สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง</th><th rowspan="2">สัตว์
มีกระดูกสันหลัง
เช่น มนุษย์</th></tr>
<tr><th>ฟองน้ำ</th><th>ไฮดรา</th><th>พลานาเรีย</th><th>ไส้เดือนดิน</th><th>แมลง</th></tr>
<tr><td>โครงสร้างหรืออวัยวะในการขับถ่าย</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>กระบวนการขับถ่าย</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ภาคผนวก

คำศัพท์

บทที่ 13		
ก	กระเพาะอาหาร	stomach
	กล่องเสียง	larynx
	การกิน	ingestion
	การดูดซึม	absorption
	การถ่ายอุจจาระ	defaecation
	การย่อย	digestion
	เกลือน้ำดี	bile salt
ข	เข็มพิษ	nematocyst
ค	คอหอย	pharynx
	คาร์บอกซิเพปทิเดส	carboxypeptidase
	โคลอน	colon
	โคเอโนไซต์	choanocyte
	ไคโมทริปซิน	chymotrypsin
	ไคโมทริปซิโนเจน	chymotrypsinogen
	ไคโลไมครอน	chylomicron
จ	เจจูนัม	jejunum
ซ	ซีกัม	caecum
ด	ดีออกซีไรโบนิวคลีเอส	deoxyribonuclease
	ดูโอดินัม	duodenum
ต	ตับอ่อน	pancreas
ถ	ถุงน้ำดี	gallbladder

ท	ทริปซิน	trypsin
	ทริปซิโนเจน	trypsinogen
	ทวารหนัก	anus
	เทนทาเคิล	tentacle
น	น้ำดี	bile
	นิวคลีโอซิเดส	nucleosidase
ฝ	ฝาปิดกล่องเสียง	epiglottis
พ	เพดานอ่อน	soft palate
	เพปซิน	pepsin
	เพปซิโนเจน	pepsinogen
	เพอริสตัลซิส	peristalsis
	โพรคาร์บอกซิเพปทิเดส	procarboxypeptidase
	โพรเวนทริคิวลัส	proventriculus
ฟ	ฟอสฟาเทส	phosphatase
ม	ไมโครไบโอม	microbiome
	ไมโครวิลลัส	microvillus
ร	ไรโบนิวคลีเอส	ribonuclease
ว	วิลลัส	villus
ส	ไส้ตรง	rectum
	ไส้ติ่ง	appendix
ห	หลอดอาหาร	esophagus
อ	อะมีโบไซต์	amoebocyte
	อะไมเลส	amylase
	อิมัลชัน	emulsion

อ	เอนเทอโรไคเนส	enterokinase
	ไอเลียม	ileum
ฮ	ฮอร์โมนแกสตริน	gastrin
	เฮพาทิกพอทัลเวน	hepatic portal vein
	เฮพาทิกเวน	hepatic vein
	ไฮโดรลิซิส	hydrolysis
	บทที่ 14	
ก	กระบวนการหายใจระดับเซลล์	cellular respiration
	กล่องเสียง	larynx
	การแลกเปลี่ยนแก๊ส	gas exchange
	การแลกเปลี่ยนแบบสวนทางกัน	countercurrent exchange
ข	แขนงหลอดลม	parabronchi
ค	คอหอย	pharynx
	เครื่องสไปโรมิเตอร์	spirometer
ช	ช่องหายใจ	spiracle
ถ	ถุงลม	air sac (ในแมลง นก), alveolus (ในมนุษย์)
ท	ท่อลม	trachea
	ท่อลมฝอย	tracheole
พ	โพรงจมูก	nasal cavity
ร	ระบบท่อลม	tracheal system
	ระบบหายใจ	respiratory system
	รูจมูก	nostril
	โรคถุงลมโป่งพอง	emphysema

ร	โรคปอดบวม	pneumonia
	โรคมะเร็งปอด	lung cancer
	โรควัณโรค	tuberculosis
	โรคหลอดลมอักเสบ	bronchitis
	โรคหอบหืด	asthma
ส	สายเสียง	vocal cord
ห	หมู่ฮีม	heme group
	หลอดลม	bronchi
	หลอดลมฝอย	bronchiole
	เหงือก	gill
อ	ออกซีฮีโมโกลบิน	oxyhemoglobin
ฮ	ฮีโมโกลบิน	hemoglobin
บทที่ 15		
ก	กล้ามเนื้อหัวใจ	cardiac muscle
	การแข็งตัวของเลือด	blood clotting
	แกรนูโลไซต์	granulocyte
	โกลบูลิน	globulin
ข	ของเหลวระหว่างเซลล์	interstitial fluid
ค	คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	electrocardiogram; ECG หรือ EKG
	ความดันซิสโทลิก	systolic pressure
	ความดันไดแอสโทลิก	diastolic pressure
	เครื่องกระตุ้นการเต้นของหัวใจ	artificial pacemaker
	เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	electrocardiograph
	โคโรนารีอาร์เทอรี	coronary artery

ซ	ซีรัม	serum
	เซลล์เม็ดเลือดขาว	leukocyte
	เซลล์เม็ดเลือดแดง	erythrocyte
ต	ต่อมน้ำเหลือง	lymph node
ถ	ถุงเยื่อหุ้มหัวใจ	pericardium
ท	ทรอมบิน	thrombin
น	น้ำเหลือง	lymph
	นิวโทรฟิล	neutrophil
บ	เบโซฟิล	basophil
พ	พลาสมา	plasma
	เพลตเลต	platelet
	โพรทรอมบิน	prothrombin
ฟ	ฟีตัส	fetus
	ไฟบริน	fibrin
	ไฟบริโนเจน	fibrinogen
ม	โมโนไซต์	monocyte
ร	ระบบน้ำเหลือง	lymphatic system
	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด	closed circulatory system
	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด	open circulatory system
	โรคหลอดเลือดแดงแข็ง	atherosclerosis
	โรคฮีโมฟิเลีย	hemophilia
ล	ลิ้น	valve
	ลิมโฟไซต์	lymphocyte
	ลิวคีเมีย	leukemia

ว	เวน	vein
	เวนาคาวา	vena cava
	เวนทริเคิลซ้าย	left ventricle
	เวนทริเคิลขวา	right ventricle
	เวนูล	venule
ส	สเตตโตสโคป	stethoscope
ห	หลอดน้ำเหลือง	lymph vessel
	หลอดน้ำเหลืองฝอย	lymphatic capillary
	หลอดเลือดฝอย	blood capillary
	หลอดเลือดเวน	venous blood vessel
	หลอดเลือดสมองตีบหรืออุดตัน	ischemic stroke
	หลอดเลือดสมองปริแตกหรือฉีกขาด	hemorrhagic stroke
	หลอดเลือดอาร์เทอรี	arterial blood vessel
	หัวใจเทียม	pseudoheart

อ	อะแกรนูโลไซต์	agranulocyte
	อัลบูมิน	albumin
	อาร์เทอริโอล	arteriole
	อาร์เทอรี	artery
	อิมมูโนโกลบูลิน	immunoglobulin
	อีรีโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส	erythroblastosis fetalis
	อีโอซิโนฟิล	eosinophil
	เอออร์ตา	aorta
	เอเทรียมซ้าย	left atrium
	เอเทรียมขวา	right atrium
	แอนติเจน	antigen
บทที่ 16		
ก	การถอดรหัสย้อนกลับ	reverse transcription
	การอักเสบ	inflammation
ซ	เซรุ่ม ซีรัม	serum
	เซลล์ความจำ	memory cell
	เซลล์ที	T cell
	เซลล์ทีที่ทำลายเซลล์แปลกปลอม	cytotoxic T cell
	เซลล์ทีผู้ช่วย	helper T cell
	เซลล์นำเสนอแอนติเจน	antigen presenting cell
	เซลล์บี	B cell
	เซลล์พลาสมา	plasma cell
	เซลล์แมสต์	mass cell
	เซลล์โฮสต์	host cell

ซ	ไซโทไคน์	cytokine
ต	ตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ที	T cell receptor ; TCR
	ตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์บี	B cell receptor ; BCR
ท	ทีลิมโฟไซต์	T lymphocyte
บ	บริเวณจับแอนติเจน	antigen binding site
	บีลิมโฟไซต์	B lymphocyte
ภ	ภูมิคุ้มกันก่อเอง	active immunization
	ภูมิคุ้มกันรับมา	passive immunization
ม	แมโครฟาจ	macrophage
ร	ระบบภูมิคุ้มกัน	immune system
	โรคข้อรูมาตอยด์	rheumatoid arthritis
	โรคภูมิแพ้	allergy
	โรคลูปัส	Lupus
	โรคเอสแอลอี	systemic lupus erythematosus ; SLE
ส	สารก่อภูมิแพ้	allergen
อ	อิมมูโนโกลบูลิน	immunoglobulin ; Ig
	แอนติเจน	antigen
	แอนติบอดี	antibody
	แอนติฮิสทามีน	antihistamine

บทที่ 17

ก	กรวยไต	pelvis
	กระเพาะปัสสาวะ	urinary bladder
	การกรอง	filtration
	การดูดกลับ	reabsorption

ก	การสร้างปัสสาวะ	urine formation
	การหลั่ง	secretion
	โกลเมอรูลัส	glomerulus
ข	ของเหลวที่ผ่านการกรอง	filtrate
	ของเหลวภายนอกเซลล์	extracellular fluid
	ของเหลวภายในเซลล์	intracellular fluid
ค	คลื่นเสียงความถี่สูง	ultrasound
	คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล	contractile vacuole
	คอร์เทกซ์	cortex
ต	ต่อมใต้สมองส่วนหลัง	posterior pituitary gland
	ไต	kidney
ท	ท่อขดส่วนต้น	proximal convoluted tubule
	ท่อขดส่วนปลาย	distal convoluted tubule
	ท่อไต	ureter
	ท่อปัสสาวะ	urethra
	ท่อรวม	collecting duct
	ท่อหน่วยไต	nephron tubule
น	นิ่วในไต	kidney stone
	เนโฟรสโตม	nephrostome
บ	โบว์แมนส์แคปซูล	Bowman ' s capsule
พ	โพรโทเนฟริเดียม	protonephridium
ม	มัลพิเกียนทิวบูล	Malpighian tubule
	เมดัลลา	medulla
	เมทาเนฟริเดียม	metanephridium

ร	ระบบขับถ่าย	excretory system
	รีนัลเวน	renal vein
	รีนัลอาร์เทอรี	renal artery
ห	หน่วยไต	nephron
	ห่วงเฮนเล	loop of Henle
อ	แอลโดสเทอโรน	aldosterone
ฮ	ฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก	antidiuretic hormone ; ADH
	ไฮโพทาลามัส	hypothalamus

บรรณานุกรม

ผกากรอง วนไพศาล. (2559, 10 สิงหาคม). **บทความเผยแพร่ความรู้สู่ประชาชน เรื่อง น้ำนมแม่ประโยชน์อเนกอนันต์**, สืบค้นเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2561, จาก http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/338/

ไพศาล สิทธิกรกุล. (2548). **วิทยาภูมิคุ้มกัน สำหรับการเรียนการสอนและการวิจัย**. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริม กรุงเทพ.

ภาควิชาตจวิทยา คณะแพทย์ศิริราชพยาบาล. (2560, 21 สิงหาคม). **อยู่เป็นสุขกับโรคเอส แอล อี**, สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2561, จาก http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/articledetail.asp?id=38

ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **ศัพท์วิทยาศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน** (พิมพ์ครั้งที่ 5 แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). **หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ตามมาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรู้เพิ่มเติมเพื่อเสริมศักยภาพวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 พื้นฐานชีววิทยา แอนติบอดี** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : บริษัทพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.) จำกัด.

สมาคมโรคติดเชื้อในเด็กแห่งประเทศไทย. (2561). **ตารางการให้วัคซีนในเด็กไทยปกติ โดยสมาคมโรคติดเชื้อในเด็กแห่งประเทศไทย 2561**. สืบค้นเมื่อ 22 มิถุนายน 2561, จาก http://www.pidst.net/A626.html

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). **Biology: A Global Approach** (11th ed). New York: Pearson Education Limited.

Cowan, M. K., Talaro, K. P. (2009). **Microbiology A : System Approach** (2nd ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Gerard J. T., Berdell R. F., Christine L. C. (2014). **Microbiology : An Introduction** (11rd ed).: Pearson Education Limited.

Mader, S. S., Windelspecht, M. (2016). **Biology** (12th ed). New York: McGraw-Hill Education.

Nester, E. W., Anderson, D. G., Roberts, C. E., Pearsall N. N., Nester M. T. (2001). **Microbiology: A Human Perspective** (3rd ed). New York: Pearson Education Limited.

Peacock, A. J. (1998). ABC of Oxygen : Oxygen at High Altitude. **BMJ**: 317 (7165), 1063-1066.

Saladin, K. S. (2010). **Anatomy & Physiology : The Unity of Form and Function** (5th ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Shier, D., Butler, J., & Lewis, R. (2009). **Hole's essential of Human Anatomy & Physiology** (10th ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Teresa A., Gerald A. & Bruce E. B. (2008). **Biology : Life on Earth with Physiology** (8th ed). New York: Pearson Education Limited.

VanPutte, C., Regan, J., Russo, A., Seeley, R., Stephen, T., Tate, P. (2017). **Seeley's Anatomy & Physiology** (11th ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Widmaier, E. P., Raff, H., Strang, K. T., & Vander, A. J. (2008). **Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function**. Boston: McGraw-Hill Higher Education.

ที่มาของรูป

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	- 15.14 เซลล์เม็ดเลือด (109) - 15.16 ชนิดของเซลล์เม็ดเลือดขาว (111) - 16.1 (นิวโทรฟิล โมโนไซต์ แมโครฟาจ) (136) - เซลล์แมสต์ (138)
เอื้อเฟื้อโดย รศ. ดร.สุรสีห์ วัฒนวิกย์กิจ	- การใช้กระป๋องแก๊สออกซิเจนบริเวณพื้นที่ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมาก (43)
เอื้อเฟื้อโดย คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล	- ปอดของคนที่สูบบุหรี่ (76)
เอื้อเฟื้อโดย อ. ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	- 14.2 (ฟองน้ำ) (7, 48)
เอื้อเฟื้อโดย นายธนิศ เอื้อคณารักษ์	- โลมา (56)

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์	ผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิลัย	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. นายณรงค์ พ่วงศรี	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. นางสาววิลาส รัตนานุกูล	นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

9. ดร.นันทยา อัครอารีย์	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10. นางสาวปาณิก เวียงชัย	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4

1. ผศ.ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.นพดล กิตนะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.สิทธิพร ภัทรดิลกรัตน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. อ.ดร.สพ.ญ.วัชราภรณ์ ติยะสัตย์กุลโกวิท	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. นายชัยยศ นุ่มกลิ่น	โรงเรียนศรีบุณยานนท์ จ.นนทบุรี
6. นางสาวณัฎยา สุริยนต์	โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จ.เชียงราย
7. นายณัฐพงศ์ มนต์อ่อน	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร
8. นางสาวณิชกมล มีศิริ	โรงเรียนสระหลวงพิทยาคม จ.พิจิตร
9. นางสาวปิยรัตน์ พิมพ์สวัสดิ์	โรงเรียนค้อวังวิทยาคม จ.ยโสธร
10. นางสาววรรณวิภา เบญจเลิศยานนท์	โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ภูเก็ต จ.ภูเก็ต
11. นางวิภาณีย์ จิรธรภักดี	โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จ.ลพบุรี
12. นางสาววิลาวัลย์ ยั่งยืน	โรงเรียนพนมสารคาม "พนมอดุลวิทยา" จ.ฉะเชิงเทรา
13. นายวีระเดช คำถาวร	โรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร
14. นายศุภลักษณ์ เรืองสมบัติ	โรงเรียนนาดูนประชาสรรพ์ จ.มหาสารคาม
15. นางสาวสิโรธร ศรีโชติ	โรงเรียนปทุมคงคา กรุงเทพมหานคร
16. นายสุรเดช ศรีทา	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
17. นายสุริยา บัวหอม	โรงเรียนประจันตราษฎร์บำรุง จ.ปราจีนบุรี
18. นางอารี อนันต์ศรี	โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี
19. ดร.อรสา ชูสกุล	ผู้ชำนาญสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

20. ดร.สุนัดดา โยมญาติ	ผู้ชำนาญสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
21. ดร.ปารวีร์ เล็กประเสริฐ	นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
22. ดร.ขวัญชนก ศรัทธาสุข	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
23. ดร.ภัณฑิลา อุดร	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
24. นางสาวปุณยาพร บริเวธานันท์	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะบรรณาธิการ

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.นพดล กิตนะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ผศ.ดร.สิทธิพร ภัทรดิลกรัตน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. อ.ดร.สพ.ญ.วัชราภรณ์ ติยะสัตย์กุลโกวิท	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7 ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม ๔ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.๒๕๖๐)**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ **เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์และมนุษย์ โครงสร้างและกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์และมนุษย์ การทำงานของปอดและการวัดปริมาตรของอากาศในการหายใจออกของมนุษย์ ศึกษาระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิดและระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิดในสัตว์ โครงสร้างและการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดในมนุษย์ เซลล์เม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ หมู่เลือดและหลักการให้และรับเลือดในระบบ ABO และระบบ Rh ส่วนประกอบและหน้าที่ของน้ำเหลือง โครงสร้างและหน้าที่ของหลอดน้ำเหลือง และต่อมน้ำเหลือง ศึกษากลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ การสร้างภูมิคุ้มกันก่อเองและภูมิคุ้มกันรับมา และความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ในการกำจัดของเสียออกจากร่างกายของสัตว์ โครงสร้างและหน้าที่ของไต กลไกการทำงานของหน่วยไต และโครงสร้างที่ใช้ลำเลียงปัสสาวะออกจากร่างกายของมนุษย์ และความผิดปกติของไตจากโรคต่างๆ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ และสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์
๒. สังเกต อธิบาย การกินอาหารของ ไฮดรา และพลานาเรีย
๓. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้าง หน้าที่ และกระบวนการย่อยอาหาร และการดูดซึมสารอาหารภายในระบบย่อยอาหารของมนุษย์
๔. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สของฟองน้ำ ไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน แมลง ปลา กบ และนก
๕. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปอดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม
๖. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สและกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สของมนุษย์
๗. อธิบายการทำงานของปอด และทดลองวัดปริมาตรของอากาศในการหายใจออกของมนุษย์
๘. สืบค้นข้อมูล อธิบายและเปรียบเทียบระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิดและระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด
๙. สังเกตและอธิบายทิศทางการไหลของเลือดและการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดในหางปลา และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหลอดเลือดกับความเร็วในการไหลของเลือด
๑๐. อธิบายโครงสร้างและการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดในมนุษย์
๑๑. สังเกตและอธิบายโครงสร้างหัวใจของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ทิศทางการไหลของเลือดผ่านหัวใจของมนุษย์ และเขียนแผนผังสรุปการหมุนเวียนเลือดของมนุษย์
๑๒. สืบค้นข้อมูล ระบุความแตกต่างของเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว เพลตเลต และพลาสมา
๑๓. อธิบายหมู่เลือดและหลักการให้และรับเลือดในระบบ ABO และระบบ Rh
๑๔. อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับส่วนประกอบและหน้าที่ของน้ำเหลือง รวมทั้งโครงสร้างและหน้าที่ของหลอดน้ำเหลือง และต่อมน้ำเหลือง
๑๕. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบกลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ
๑๖. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบการสร้างภูมิคุ้มกันก่อเองและภูมิคุ้มกันรับมา
๑๗. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันที่ทำให้เกิดเอดส์ ภูมิแพ้ การสร้างภูมิต้านทานต่อเนื้อเยื่อตนเอง
๑๘. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ในการกำจัดของเสียออกจากร่างกายของฟองน้ำ ไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน แมลงและสัตว์มีกระดูกสันหลัง
๑๙. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของไต และโครงสร้างที่ใช้ลำเลียงปัสสาวะออกจากร่างกาย
๒๐. อธิบายกลไกการทำงานของหน่วยไตในการกำจัดของเสียออกจากร่างกาย และเขียนแผนผังสรุปขั้นตอนการกำจัดของเสียออกจากร่างกายโดยหน่วยไต
๒๑. สืบค้นข้อมูล อธิบายและยกตัวอย่างเกี่ยวกับความผิดปกติของไตอันเนื่องมาจากโรคต่าง ๆ

รวมทั้งหมด ๒๑ ผลการเรียนรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

CHULA BOOK

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย
ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐
www.chulabook.com
ฝ่ายขายติดต่อ แผนกขายส่ง โทร. ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๕-๖
โทรสาร ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๔

ชีววิทยา ม.5 เล่ม 4
ISBN 978-616-362-804-6
9 786163 628046
C 112
170500 74 บาท